السدود والأنهار

تأليف
آلان كالين

ترجمة
عبدالمعطى باشا

تقديم ومراجعة
د. حسن عبد المعطي

الكتاب: السدود والأنهار

الكاتب: آلان كالين

ترجمة: عبدالمعطى باشا

تقديم ومراجعة: د. حسن عبد المعطي

الطبعة: ٢٠٢١

الناشر: وكالة الصحافة العربية (ناشرون)

٥ ش عبد المنعم سالم – الوحدة العربية – مدكور- الهرم – الجيزة

جمهورية مصر العربية

هاتف: ٣٥٨٢٥٢٩٣ – ٣٥٨٦٧٥٧٦ – ٣٥٨٦٧٥٧٥

فاكس: ٣٥٨٧٨٣٧٣

http://www. bookapa.com **E-mail:** info@bookapa.com

دار الكتب المصرية

فهرسة أثناء النشر

كالين، آلان

السدود والأنهار/ آلان كالين، ترجمة: عبد المعطى باشا، تقديم ومراجعة: د. حسن عبد المعطي – الجيزة – وكالة الصحافة العربية.

١٩٥ ص، ١٨*٢١ سم.

الترقيم الدولي: ٠ – ١٦٧ – ٩٩١ – ٩٧٧ – ٩٧٨

أ – العنوان رقم الإيداع: ٥٩٢٧ / ٢٠٢١

السدود والأنهار

وكالة الصحافة العربية
«ناشرون»

تقديم

تمر هذا العام الذكرى الخمسين على انتهاء العمل رسميا في مشروع بناء السد العالي، إذ تم الانتهاء من بنائه في ٢١ يوليو عام ١٩٧٠، وقد تجاوز مشروع السد تجاوز غيره من المشروعات الهندسية المعمارية، واختارته الهيئات الدولية من قبل، كأعظم مشروع هندسي في القرن العشرين، واستطاع التفوق على مشاريع عملاقة في العالم كمطار "شك لاب كوك" في هونج كونج، ونفق المانش الذي يربط بريطانيا بفرنسا، و١٢٢ مشروعا عملاقا آخر في العالم، ولعل الإنجاز الأبرز للسد هو منع كوارث الجفاف والمجاعات عن مصر في الفترة بين ١٩٧٩ و١٩٨٧، ووفر ٧٠ مليار متر مكعب من مخزون بحيرة ناصر المتفرعة عنه لتعويض العجز السنوي في الإيراد الطبيعي لنهر النيل، كما حمى مصر من أخطار الفيضانات العالية التي حدثت في الفترة من ١٩٩٨ إلى ٢٠٠٢.

وبلغت تكلفة بناء السد العالي الإجمالية نحو مليار دولار، وبلغ طوله ٣٦٠٠ متر، عرض القاعدة ٩٨٠ مترا، عرض القمة ٤٠ متراً، والارتفاع ١١١ مترا. حجم جسم السد ٤٣ مليون متر مكعب من إسمنت وحديد ومواد أخرى، ويمكن أن يمر خلال السد تدفق مائي يصل إلى ١١ ألف متر مكعب من الماء في الثانية الواحدة. وساعد كثيراً في التحكم بتدفق المياه والتخفيف من آثار فيضان النيل، كما أن بحيرة

ناصر تقلل من اندفاع مياه الفيضان وتقوم بتخزينها للاستفادة منها في سنوات الجفاف، فيما عمل السد على التوسع في المساحة الزراعية وزراعة محاصيل أكثر على الأرض نتيجة توفر المياه مما أتاح ثلاث زراعات مهمة كل سنة، كما عمل على توليد الكهرباء التي أفادت مصر اقتصادياً. بل وغيرت وجه الحياة بامتداد الوادي.

وكان بناء السد العالي مشروعا قوميا تضافرت كل الجهود من أجل إنجاحه، ومنها جهود ثقافية بذلت من أجل التعريف بأهميته وبأنه يستحق ما تم تحمله من أجل تنفيذه، ومن أبرز هذه الجهود الثقافية إصدار الكتب المتعلقة بموضوع السدود، ومن أهمها الكتاب الذي تعيد "وكالة الصحافة العربية – ناشرون "إصداره اليوم، وهو كتاب السدود والأنهار" للكاتب الأمريكي "آلان كالين" وهو مهندس متخصص في تصميم السدود، وكاتب في مجال الثقافة العلمية، وهذا أعطى كتابه قيمة كبيرة، إذ استطاع أن يبسط أمام القارىء العادي المعلومات الهندسية المعقدة الخاصة بموضوع الكتاب، وقد نقل الكتاب إلى اللغة العربية "عبدالمعطى علي باشا" وهو مهندس مصري، كان من المشاركين في تنفيذ مشروع السد العالي، وقد بدأ كتابه بدراسة مهمة عن هذا الصرح العملاق قبل أن يبسط بين يدي القارىء فصول الكتاب الذي عكف على ترجمته.

تاريخ السدود

السد هو حاجز يقام على نهر لتخزين الماء ورفع مستواه. وأكثر الأسباب شيوعا لبناء السدود هي تركيز السقوط الطبيعي للمياه في موقع

معين وبالتالي يصبح من الممكن توليد الكهرباء، وتوجيه المياه من الأنهار إلى القنوات ونظم الري وتوريد المياه، وزيادة أعماق النهر لأغراض ملاحية، والتحكم في تدفق النهر أثناء الفيضان والجفاف وإقامة بحيرات صناعية لأغراض ترفيهية.

ويرجع تاريخ السدود إلى قرون بعيدة. فقد أقيم أول سد معروف قبل أربعة آلاف عام، لتحويل مجرى نهر النيل في مصر من أجل إنشاء مدينة ممفيس. كما بنى البابليون سدودا كجزء من نظم الري بهدف تحويل بقاع غير منتجة إلى سهول خصبة قادرة على استيعاب عدد كبير من السكان. كذلك بنى الرومان سدودا في جميع مقاطعات إمبراطوريتهم. فشيدوا سدودا في سوريا وأفريقيا الشمالية وأسبانيا وإيطاليا. وغالبا ما كانت هذه السدود تبنى بحائطين حجريين مع فراغ فيما بينهما. وكان هذا الفراغ يملأ بمواد قليلة الكلفة كالتراب أو الحجارة الصغيرة المتنوعة، وقبل الميلاد بنى اليمنيون سد مأرب الأكثر شهرة في التاريخ.

وفي الأندلس شيدت العديد من السدود، وقد تم بناء عدد كبير منها على نهر توريا الذي يبلغ طوله (١٥٠) ميلا ويجري من بلنسية باتجاه البحر الأبيض المتوسط. وتقع ثمانية من هذه السدود على مسافة عدة كيلومترات من نهر في منطقة بلنسية، وهي تستخدم من أجل نظام الري المحلي. كما أن بعض القنوات تحمل الماء إلى منطقة أكثر بعدا،

وبخاصة إلى حقول الأرز البلنسية، وتتشابه جميع السدود الأندلسية في بنائها، فهي منخفضة، وجوانبها الداخلية عمودية، أما الخارجية فهي مدرجة. ونواتها مصنوعة من حجارة صغيرة متنوعة ومن الملاط، وإنشاءاتها مكسوة بكتل حجرية ضخمة مثبتة بواسطة الملاط. وتوجد في قنوات التصريف بوابات تحكم تسمح لفائض الماء بالعودة إلى النهر وذلك بواسطة عمليات اعتيادية. ويتم فتحها إلى الحد الأقصى، وفق الظروف، لتفريغ ما يسبب انسداد القنوات. وتقوم بوابات التحكم هذه بمنع الطين والوحل اللذين يتجمعان وراء السد من إعاقة عملية سحب الماء ومن إغلاق القنوات نفسها. ولقد راعى المهندسون المسلمون عند تشييدهم السدود ألا تدمر أساساتها على مر السنين بالطاقة الناتجة من اندفاع الماء من فوق قمة السد. ففي السد الذي أقيم على نهر سيغورة بالقرب من مدينة مرسية جعل الجانب الخارجي من السد ذا سطح كبير. ليسقط الماء المنسكب من قمة السد عموديا من ارتفاع خمسة أمتار تقريبا على أرضية يبلغ عرضها ثمانية أمتار وتمتد على طول السد كله. وتستخدم هذه الأرضية لتبديد طاقة الماء المنسكب من قمة السد. بعد ذلك يلتحق الماء بأسفل السد من الجانب الخارجي متبعا مقاطع أفقية ومقاطع أخرى خفيفة الانحدار. وبهذه الطريقة، يعمل السد بأكمله كمصرف للمياه الفائضة، وتتبدد الطاقة التي تحملها المياه، مما يخفف كثيرا من خطر خراب الأساسات في الجانب الخارجي.

أما السدود الحديثة، فتقسم السدود على أساس الشكل الهيكلي لها والمواد المستخدمة في إنشائها. والأنواع الرئيسية للسدود هي: السدود الثقيلة، والقناطر والسدود المدعمة والجسور. وعادة ما تستخدم الخرسانة في إقامة الثلاثة أنواع الأولى. وقد يوجد بناء واحد يحتوي على نوع أو أكثر من هذه السدود. فقد يحتوي السد المقوس على سد ثقيل وقنطرة لتحقيق ثبات معين، كما قد يوجد بالجسر جزء خرسانة وجزء من سد ثقيل يحتوي على قنوات لتصريف المياه الفائضة. وهناك اعتبارات اقتصادية وأخرى هندسية تحدد اختيار نوع السد المناسب لمنطقة معينة. وتعتمد تكاليف أنواع السدود المختلفة على مدى توافر مواد البناء وقرب وسائل النقل. وغالبا ما تحدد شروط وضع الأساسات نوع السد الذي سيتم بناؤه في منطقة بعينها، ففي السد الثقالي يقوم ثقل السد بمهمة احتواء ضغط الماء وبهدف الحصول على تدعيم إضافي، تضاف أحيانا زافرات إلى الجانب الخارجي من السد، حتى لا يحدث تصدع في الأساسات بفعل التآكل المستمر. أما السدود المدعمة فهي مخصصة لتقاوم بشكل أفضل قوة الماء والوحل والطين بواسطة فعل عقد أفقي. وهي تصلح بخاصة في المواقع القليلة الطول بالمقارنة مع الارتفاع، وكذلك حيث تكون جوانب الوادي مؤلفة من صخور صلبة تقاوم قوة الدفع الشديدة في دعامتي العقد.

ويوجد في العالم اليوم أكثر من ثمانمائة ألف سد، لكن السدود

الكبيرة أو الثقيلة منها لا تتجاوز الخمسين ألف سد، من أهمها وأضخمها السد العالي.

فوائد السدود

هناك هدف أساسي من إنشاء السدود وهو الحفاظ على المياه، فيتم التعامل مع السد كمصدر للمياه في المستقبل. ويترتب على بناء السدود توسيع الأراضي المزروعة مع تنويع الزراعة فيها وإقامة مشاريع زراعية ضخمة، كما أنها تعتبر وسيلة مهمة لحفظ التربة من الانجراف أثناء انحدار السيول عندما تكون الأمطار غزيرة،وهذا يسهم في التقليل من كمية التربة المجروفة ومساحتها والأضرار الكبيرة والبعيدة المدى الناشئة عنها مثل انهيار المنازل التي تتأثر بفعل السيول. كما يتم توليد الطاقة الكهربائية من السدود التي تعد الأقل ضررا على البيئة وبأسعار رخيصة، إضافة إلى التغذية الجوفية لباطن الأرض ومنع التصحر والحماية من الفيضانات التي تهدد حياة الناس وممتلكاتهم وكذلك وجود فوائد سياحية كثيرة.

أضرار السدود

ورغم الفوائد الجمة التي تحققها الأمم كنتيجة لبناء السدود إلا أن التوسع فيها أظهر عددا من العيوب والمضار، لذلك بدأت حملات عالمية معارضة لبناء السدود. فالنهر ينقل الرواسب من أعلاه الى مصبه. لكن السدود تحتجز وراءها الرواسب، خصوصاً الحصى، فيصبح النهر بعد السد محروماً منها، ويتآكل قاعه، فينخفض مستواه. فبعد تسع سنوات على بناء

سد هوفر الشهير في الولايات المتحدة، انخفض قاع النهر أربعة أمتار. هذه الظاهرة تؤدي الى تآكل التربة عند أساسات الجسور والمنشآت على طول النهر، وانخفاض مستوى المياه الجوفية في ضفافه، مما يؤثر على النباتات. إضافة الى ذلك، فإن حرمان النهر من الحصى يؤدي إلى تهجير جماعات الأسماك التي تضع بيوضها بين الحصى.

وثمة نظريات تدّعي أن السدود الكبيرة تسبب الزلازل وتحرك الصفائح الأرضية، نظراً لوزن الماء الضخم المحتجز في بقعة محددة، وللسدود الضخمة تأثير اجتماعي، خصوصاً نتيجة إجلاء أهالي القرى في حوض السد التي ستغمر تماماً. فمثلاً، تبلغ مساحة حوض سد الممرات الثلاثة في الصين ١٠٥٠ كيلومتراً مربعاً، وقد تم إجلاء مئات القرى واقتلاع مجتمعاتها ونقلها الى أماكن أخرى. وغالباً ما يحرم هؤلاء الناس من التعويض المناسب، فضلا عن ضياع تراثهم، لذلك فهناك اتجاه عالمي للاستعاضة عن السدود الضخمة بعدة سدود أصغر حجماً، بحيث يكون تأثيرها أقل وطأة على النظام النهري.

وهناك اتجاه أيضاً لازالة السدود القديمة للسماح للأنهار والنظم البيئية بأن تستعيد وضعها الذي كانت عليه. ففي الولايات المتحدة، حيث يتحتم تجديد ترخيص العمل بسدود توليد الطاقة الكهربائية المائية كل ٣٠ الى ٥٠ سنة، تجاوزت معدلات إزالة السدود معدلات بنائها خلال العقد الماضي.

د. حسن عبد المعطي

السد العالي

بقلم: المترجم

تأتي مياه نهر النيل في فصل الفيضان كل عام غزيرة متدفقة وينساب معظمها إلى البحر دون الانتفاع بها، وهي في طريقها إليه قد تهدد القرى والمدن، في حين أنها تشح في فصل الصيف بحيث أن الزراعات القائمة قد تحتاج إلى قطرة منها فلا تجدها، ومن هنا برزت فكرة إنشاء سد عال عند أسوان لاحتجاز مياه الفيضان، للانتفاع بها في الأوقات التي تفيض فيها مياه النهر، ولدفع ضررها عن البلاد إذا كانت زائدة عن الحد، وفي نفس الوقت يمكن استنباط قوة كهربائية هائلة من سقوطها، ينتفع بها في التصنيع.

ويهيئ السد تخزينا من نوع جديد يعرف بالتخزين المستمر أو التخزين الطويل الأمد، وهو يهدف إلى تخزين كل ما يزيد من المياه عن الاحتياجات في السنين العالية، للسحب منه في السنين المنخفضة. ووظيفة السد في أبسط تعبير هي خلق فيضان صناعي، ذي إيراد ثابت، تتفق تصرفاته مع الوفاء الكامل بالمطالب الزراعية في كل المواسم، ومشروع السد العالي هو أهم حلقة في سلسلة مشروعات التحكم في النهر، وهو المشروع الوحيد الذي يتيح استغلال مياه الفيضان التي تذهب إلى البحر سدى كل عام، ويكفل مع مشروعات ضبط النهر بالبحيرات الاستوائية والهضبة الأثيوبية الاستغلال الكامل لجميع مياه النهر.

وعندما قامت الثورة المصرية في عام ١٩٥٢ أخذت بنظام التخطيط الاقتصادي الشامل لمضاعفة الدخل القومي، ووجدت أن السبيل الوحيد للنهوص بالبلاد هو كسب السباق بين تزايد السكان وتزايد مصادر الدخل، وفي مقدمتها الدخل الزراعي، فكان لابد من التفكير في زيادة الرقعة الزراعية بمساحات كبيرة. فاتجهت الأنظار إلى النيل لتوفير الماء اللازم لهذا الغرض، وكانت كميات كبيرة من الماء قد تصل إلى ١٠٠ مليار متر مكعب تنساب إلى البحر سنويا بالرغم من مسيس الحاجة إليها. وبينما تبلغ الاحتياجات المائية لكل من مصر والسودان ٥٢ مليارا من الأمتار المكعبة سنويا (منها ٤٨ مليارا للأولى و٤ مليارات للثانية). ويبلغ متوسط الإيراد السنوي للنيل ٨٤ مليارا من الأمتار المكعبة سنويا، إلا أنه قد ينخفض في السنوات الشحيحة إلى ٤٥ مليارا في السنة معرضا بذلك الإنتاج الزراعي إلى خطورة القحط بسبب الجفاف، وقد يرتفع في السنوات الغزيرة إلى حوالي ١٥٠ مليارا في السنة معرضا البلاد إلى أخطار الفيضانات العالية، فاتجه التفكير إلى إنشاء سد كبير على النيل بغرض التخزين القرنى، إذ يتسع لحجز جميع مياه الفيضان وتنظيم استعمالها على مدار السنين بإدخال مياه السنين الغزيرة الإيراد لاستعمالها في السنين الشحيحة الإيراد.

وصف عام:

السد العالي عبارة عن سد ركامي كبير يقفل مجرى نهر النيل بعد

سبعة كيلومترات جنوبي خزان أسوان مع تحويل المياه إلى مجرى جديد (قناة التحويل)، عبارة عن قناة مكشوفة (القناة الأمامية)، تقود المياه من مجرى النهر أمام السد العالي إلى داخل أنفاق ستة لتخرج منها إلى قناة أخرى مكشوفة (القناة الخلفية) توصل الماء إلى مجرى النهر خلف السد العالي. ومداخل الأنفاق الستة مزودة ببوابات حديدية للتحكم في كميات المياه التي تمر بها، ويتفرع كل نفق قبيل نهايته إلى فرعين، وتصب الفروع الإثنا عشرة في محطة الكهرباء ليغذي كل منها وحدة توليد مائية قبل أن تخرج المياه إلى القناة الخلفية.

وتقع قناة التحويل على الضفة الشرقية من النيل، كما يوجد بجسم السد في الصفة الغربية مفيض لصرف المياه الزائدة عن السعة القصوى لحوض التخزين. ويبلغ طول السد العالي ٣٦٠٠ متر، منها ٥٢٠ مترا بين ضفتي النيل، ويمتد الباقي على هيئة جناحين على جانبي النهر ويبلغ طول الجناح الأيمن ٢٣٢٥ مترا على الضفة الشرقية، وطول الجناح الأيسر ٧٥٥ مترا على الضفة الغربية. ويبلغ ارتفاعه ١١١ مترا فوق قاع النيل، وعرضه عند القاع ٩٨٠ مترا وعند القمة ٤٠ مترا وهي عرض الطريق فوق السد.

جسم السد:

يتكون جسم السد من ثلاثة أجزاء رئيسية:

١- السد الجزئي الأمامي: وظيفته الأساسية هي تحويل مياه النهر

عن طريق قناة جانبية خلال فترة إنشاء السد الرئيسي، ويمثل سدا يرتفع إلى ٥٠ مترا ويصل طوله إلى ٥٠٠ متر عند القاع، وسينشأ من الركام الصخري المستخرج من ناتج حفر القناة الجانبية بعد استبعاد الأحجار الصغيرة منه، وملء الفراغات الموجودة بين الركام الصخري بالرمال الكثبانية مع تغطية الميل الأمامي للسد بالرمال الكثبانية يعلوها ركام الأحجار لمنع تسرب المياه، وسيستفاد من هذا السد في الوقت نفسه في إمكان التخزين أمامه إلى ١٣٣ مترا، مما يتيح زيادة المياه الحالية بنحو ٨ مليارات متر مكعب، يمكن استغلالها في استصلاح مليون فدان جديدة، مع تحويل حياض الوجه القبلي في مساحة تقدر بحوالي ٧٠٠ ألف فدان إلى نظام الري المستديم.

٢- السد الجزئي الخلفي: وظيفته هي منع دخول المياه الحمراء المحملة بالطمي إلى الموقع الذي سيقام عليه السد الرئيسي، حتى لا يرسب الطمي بهذا الموقع، وهو يساعد مع السد الأمامي على إنشاء السد الرئيسي في مياه راكدة بعيدة عن تأثير التيارات المائية. وينشأ من الركام الصخري بارتفاع قدره ٣٥ مترا فوق قاع البئر.

٣- السد الرئيسي: وطوله ٣٦٠٠ متر من الركام الصخري، بداخله نواة صماء من الأمام تحتها طبقة من الرمال المكثفة المضغوطة باستمرار حتى قاع النهر، ثم قاطع رأسي للمياه يمتد من منسوب القاع حتى طبقة الصخر بوساطة حقن التربة. ونواة السد مزودة بثلاثة ممرات

معدة بالأجهزة اللازمة للكشف عن التسرب وقياس الضغوط والاهتزازات والقيام بأعمال الصيانة اللازمة للستارة الرأسية. والسد مزود قبل نهاية ميله الخلفي بصفين من آبار التحفيف الرأسية لنزح المياه التي قد تتسرب خلال السد.

حوض التخزين – أو بحيرة ناصر:

يبلغ ارتفاع السد العالي ١١١ مترا من منسوب ٨٥ مترا فوق سطح البحر إلى منسوب ١٩٦ مترا، وسيكون أعلى منسوب لحجز المياه أمامه هو ١٨٢ مترا أي بعمق أقصاه ٩٧ مترا، وتصرف المياه الزائدة التي تعلو عن هذا المنسوب بوساطة المفيض الموجود في الجانب الأيسر من البئر، الذي يسمح بمرور تصرف قدره ٢٤٠٠ متر مكعب في الثانية، وتكون المياه المحجوزة أمام السد العالي بحيرة صناعية كبيرة يبلغ طولها ٥٠٠ كيلو متر، ومتوسط عرضها عشرة كليو مترات، ويبلغ مسطحها ٥٠٠٠ كيلو متر مربع، وروعى في تصميم المشروع أن يتسع حوض التخزين لتجميع كميات كبيرة من المواد الرسوبية على مدى سنين طويلة قبل أن يتأثر الانتفاع بالخزان. وتبلغ سعة حوض التخزين ١٥٧ مليار مكعب موزعة كالآتي:

٣٠ مليار متر مكعب لتجميع المواد الرسوبية على مدى ٥٠٠ عام.

٣٧ مليار متر مكعب احتياطي للوقاية من الفيضانات العالية (من منسوب ١٧٥ إلى منسوب ١٨٢).

٩٠ مليار متر مكعب لتوفير ٥٥,٥ مليار لمصر و١٨,٥ للسودان و١٠ مليار لمواجهة فاقد البخر والتسرب.

قناة التحويل:

تقع قناة التحويل في الضفة الشرقية للنيل، وتتكون من قناة أمامية مكشوفة وقناة خلفية مكشوفة تصل بينها الأنفاق الرئيسية المحفورة في الصخر تحت الجناح الأيمن للسد. ويبلغ الطول الكلي لقناة التحويل ١٩٥٠ مترا منها ١١٥٠ مترا طول القناة الأمامية، ٤٨٥ مترا طول القناة الخلفية، ٣١٥ مترا طول الأنفاق ومحطة توليد الكهرباء. ويبلغ عرض قاع القناة الأمامية عند مأخذها من النيل ٣٥٠ مترا، ثم يقل تدريجيا إلى أن يصل إلى ٥٠ مترا على بعد ٦٢٠ مترا من النيل، وتستمر القناة بهذا العرض لمسافة ٢٥٠ مترا ثم يتسع العرض تدريجيا مرة أخرى إلى أن يصل إلى ٢٣٠ مترا أمام مداخل الأنفاق. ومنسوب قاع القناة الأمامية عند مأخذها ٩٠,٥، ويستمر القاع أفقيا لمسافة ٣٠٠ متر، ثم ينحدر تدريجيا إلى أن يصل إلى منسوب ٨٥,٦٥ أمام مأخذ الأنفاق.

الأنفاق:

عددها ستة، وهي تصل القناة الأمامية بالقناة الخلفية عبر محطة الكهرباء، ومتوسط طول النفق الواحد ٢٨٢ مترا، وقطاع الأنفاق مستدير في غالبية الطول بقطر نهائي قدره ١٥ مترا، وهي مستطيلة المقطع عند مداخلها ومخارجها ومبطنة بالخرسانة المسلحة بسمك متر واحد على

الأقل. وقبل اتصالها بمحطة الكهرباء يتفرع كل نفق منها إلى فرعين مستطيلي المقطع ٧,٥ متر * ٢٢ مترا، ويوصل كل فرع الماء إلى إحدى وحدات التوليد، كما أن كلا من هذه الفروع مقسم بفاصل أفقي إلى ممرين للمياه يمكن لأحدهما أن يطرد المياه الفائضة واللازمة لأغراض الري إلى القناة الخلفية خارج المحطة مباشرة بدون أن تمر على التربينة. وتتحكم في ممرات المياه الفائضة بوابات دائرية تعمل حسب الحاجة. ولكل نفق منها عند اتصالها بالقناة الأمامية مدخلان، أحدهما سفلي يبدأ من قاع القناة عند منسوب ٨٥,٦٥ مترا، والآخر علوي يبدأ قاعه من منسوب ١٢٣ مترا، ويتصل كل نفق بمدخله العلوي بوساطة نفق مائل، وسوف تستعمل المداخل السلفى بصفة مؤقتة لمرور المياه والتحكم فيها أثناء فترة الإنشاء، ثم تسد نهائيا بالخرسانة بعد إتمام بناء السد وملء الخزان لتستعمل بعد ذلك المداخل العليا بصفة مستديمة.

وينقسم كل مدخل من المداخل العليا إلى فتحتين عرض كل منهما ٥ أمتار وارتفاعها ٢٠ مترا، ويتحكم في كل فتحة بوابة مستقلة يتم رفعها وخفضها بوساطة رافع كهربائي حمولته ٤٥٠ طنا. أما المداخل السفلى فينقسم كل منها إلى فتحتين عرض كل منهما ٥ أمتار وارتفاعها ١٥ مترا، ويتحكم في كل فتحة بوابة حديدية مستقلة.

وبالإضافة إلى ذلك فإن مداخل الأنفاق مزودة ببوابات للصيانة وبموانع الأعشاب، كما أن مدخلي النفقين الخامس والسادس مزودان

ببوابات إضافية لتنظيم مرور المياه فيهما. وقد صممت الأنفاق لتسمح بمرور مياه الفيضان بأكملها داخل الأنفاق الستة بتصرف قدره ١١,٠٠٠ مترمكعب في الثانية (مليار متر مكعب في اليوم) عند سرعة قدرها ١٢ مترا في الثانية. وقد اتخذت كافة الإجراءات اللازمة لتقوية الأنفاق وذلك بوساطة عمليات الحقن في ثلاثة مجاملات:

- حقن الصخور حول مداخل الأنفاق.
- حقن صخور الأنفاق خلف خرسانة التبطين لعمق ٧ أمتار.
- حقن الفراغات بين خرسانة تبطين الأنفاق والجدران الصخرية.

وقد كانت عمليه الحفر تزداد صعوبة أثناء تقدم العمل، نظرا لازدياد صلابة الصخور مع ازدياد عمق الحفر، بالإضافة إلى ضيق المواقع في المناسيب المنخفضة وشدة انحدار الطرق الموصلة إليها، وقسوة الظروف الطبيعية، إذ تصل درجة الحرارة نهارا إلى ٥٠ درجة مئوية في الظل، ورغم ذلك، فقد اضطردت الزيادة في معدلات الإنتاج في حفر الصخور إلى أن بلغت أرقاما قياسية في عام ١٩٦٣، إذ أمكن حفر ٤٠٨٤٠٠ متر مكعب في شهر يوليو سنة ١٩٦٣. وبلغ أقصى إنتاج يومي للحفر ٢٣٠٠٠ متر مكعب في يوم ١٨ يوليه ١٩٦٣.

مهندسون ذوو ذيول

توجد في البحيرات والأنهار الأمريكية فرقة حيوانات من طراز فريد من المهندسين ظلت تعمل عملا دائبا من آلاف السنين. وتقبل هذه المخلوقات على عملها وهي جالسة القرفصاء متكئة على أذيالها الطويلة المفلطحة ذات الحراشيف فلا تؤدي أعمال المهندسين فحسب، بل كذلك أعمال المقاولين ورجال الإنشاء، إذ تضطلع بعملها الرتيب في بناء السدود. هذه المخلوقات هي القنادس أو كلاب الماء، وهي بطبيعة الحال أول بناة للسدود بالفطرة. وهذه الفصيلة الدنيا من القوارض آكلات لحاء الشجر، هي التي أوحت للإنسان ببعض أمجاده الهندسية الرائعة، ونعني بها السدود العالية الكبرى التي ترتفع مئات الأقدام فتتحكم في الفيضانات وتدخر الماء الذي تشتد الحاجة إليه لري الأرض وتوليد الكهرباء لتوفير القوى اللازمة للمدن التي تعج بالناس ولقد أخذت القنادس زمام المبادرة. فقبل أن يبني الإنسان سدوده البدائية الأولى من ثمانية أو عشرة آلاف عام، كانت القنادس تبني عجائبها الهندسية الدقيقة. وعرف عن بعض المتشائمين أنهم يشعرون، بأن فصيلة القنادس ستظل مضطلعة بعملها الشاق، حتى بعد أن ينهار سد هوفر وسد جراند كولي بمدة طويلة.

وعمل القنادس يعطينا صورة سريعة واضحة عن فكرة السدود في أبسط صورة لها. فالسد حاجز يبنى عبر جدول أو نهر فيحجز سيل

الماء، وبذا تتكون بحيرة خلف السد مباشرة. وعندئذ يمكن استخدام مياه هذه البحيرة الصناعية لمجرد اللهو والتسلية أو لتخزين ماء الشرب، كما يمكن نقل مياهها عبر القنوات إلى المزارع المجاورة. ويمكن إطلاق الطاقة المحتجزة في النهر المقام عليه السد، لإدارة طاحون للقمح والغلال أو إدارة توربين لتوليد القوة الكهربائية. وفي أوقات الفيضان يمكن أن يكون السد بمثابة وقاية للمدن والعواصم الواقعة على الجوانب السفلى للنهر. والقنادس بطبيعة الحال لا تهتم كثيرا أو قليلا بري الأراضي الزراعية أو بالقوى الهيدروليكية، كما أن مسألة التحكم في الفيضان لا تشغل لها بالا، إنما تبنى القنادس سدودها من أجل تهيئة مكان ملائم لمعيشة عائلاتها. والقنادس من فصيلة القوارض، ولكن القنادس حيوانات مائية بطبيعتها. ورغم أنها من الثدييات ولابد لها من أن تتنفس الهواء، فإنها تفضل أن تقضي معظم وقتها في الماء، حيث تستطيع أن تتحرك في خفة ويسر. أما على البر فهي بطيئة الحركة ثقيلة الخطى، وبذا تصبح فريسة سهلة لأعدائها. ولكي تهيئ القنادس لنفسها بركا تعيش فيها، فإنها تبني سدودا عبر الجداول الصغيرة. وهي تفعل ذلك بقضم جذوع الأشجار حتى تسقطها على الأرض، وقد أعدتها الطبيعة رائعا لأداء عمل الحطابين والمهندسين سواء بسواء. وأسنانها حادة كالإزميل ولا تتآكل ولا تثلم. بل إنها بفضل تكوينها الطبيعي تزداد حدة ومضاء، كلما قرضت خشب الشجر. ويستطيع القندس أن ينخر شجرة قطرها أربع بوصات في عشرين دقيقة. وتتخذ القنادس لحاء

الشجر غذاء لها، وتفضل لحاء نبات الحور والرجراج والصفصاف وغيرها من الشجيرات الطويلة التي تنمو في المناطق الرطبة. وكثيرا ما تسقط الأشجار التي يبلغ قطرها ونصف منهارة بفعل أسنان القنادس التي تضاهي الإزميل مضاء. وعند سقوط الأشجار تندفع القنادس من طريقها متجنبة موطن الخطر في سرعة عجيبة ثم تقبل هذه المخلوقات الصغيرة على أعمالها الهندسية، وتهذب الشجرة الساقطة في دقة فتجردها من أطرافها وأغصانها، ثم تقطع جذعها قطعا طولها أربع أو خمس أقدام، وتدفعها إلى الماء عند موقع السد. وللقنادس طريقة هندسية مبتكرة تستخدمها في عملية النقل عندما يتم لها إسقاط جميع الأشجار على صفتي الجدول، وتضطر إلى الانتقال إلى بغية إعداد مهمات البناء، فتحفر قنوات عرضها نحو قدمين، تصل الجدول بالغاية التي تنخر أشجارها. وبدلا من دحرجة الأشجار الساقطة على البر مسافة قد تزيد على مائة قدم، فإنها تسقطها في القناة وتدفعها عائمة إلى الجدول!

وعند موقع السد يقبل عمال الإنشاء على رص قطع الخشب الواحدة فوق قمة الأخرى لإعاقة تدفق ماء الجدول. وتأتي القنادس من قاع الجدول بالطين والحجارة لرأب أي تصدع في السد، وهذا يحقق هدفين معا، هما تقوية السد وزيادة عمق البحيرة التي تصنعها القنادس، وهو أسلوب كثيرا ما يقتبس منه بناة السدود من بني الإنسان. وعندما يكون قاع الجدول غير صالح لهذا الغرض، تغترف القنادس الطين من الضفتين وتحتضنه على

صدورها وتسبح بأرجلها الخلفية إلى مواقع السدود، أما عملية رأب الثغرات بالطين فتؤديها القنادس بمخالبها الأمامية.

وهكذا يقوم بناء أنيق، قوامه جذوع ضخمة مشدودة إلى بعضها البعض بالأغصان والفروع والشجيرات، وتطمس ما بينها بالطين والأحجار، وترتفع القنادس بسدودها إلى الحد المناسب لاحتجاز الماء اللازم لإقامة بحيرة لها. ويبلغ طول سدود القنادس في المتوسط اثنتى عشرة قدما أو خمس عشرة في عرض الموقع، كما يبلغ ارتفاعها خمس أو ست أقدام، وكثيرا ما تكون أضخم من ذلك بكثير. ففي "إستس بارك" بكلورادو كان يقوم سد مشهور من صنع القنادس يزيد طوله على ألف قدم، كما أن هناك كثيرا من سدود القنادس في مختلف أنحاء أمريكا يتراوح طولها بين مائتي وثلاثمائة قدم.

وبعد بناء السد، يتجمع الماء خلفه مكونا بحيرة تبنى فيها القنادس مساكنها. ورغم أنها تقيمها في الغالب فوقي سطح الماء، فإنها تخفي مداخلها تحت الماء، وبذا تتقي شر أعدائها من الحيوانات التي لا تسبح مثل ذئب البراري، وإن كان هذا الاحتياط لا يجديها فتيلا إزاء بطش ثعلب الماء. والقنادس تصلح أي خلل يحدث بسدودها في الحال، حتى لا ينخفض مستوى ماء البحيرة إلى حد انحسار الماء عن مداخل مساكنها وظهورها للعيان.

وسبب آخر لضرورة الاحتفاظ بعمق البحيرة هو تحاشي التجمد في الشتاء. فرغم تجمد سطح بحيرة القندس، فإن هناك دائما قدرا من الماء

تحت الجليد يهيئ للقنادس مكانا تسبح فيه، وهي تختزن مؤونتها من الطعام للشتاء على طول السد ثم تسبح إليه تحت الجليد عندما تجوع. وتحطم القنادس أحيانا سدودها بمحض إرادتها يفيد إغراق عدوها. وتقول أسطورة قديمة، إن مستنقع "أوكفينوكي" بفلوريدا وجورجيا تكون عندما هدمت القنادس سدودها لإغراق هنود السينول، الذين كانوا يتصيدون صغار القنادس للهو بها. وحينئذ كانت القنادس تصفع الماء بأذيلها محدثة صوت إنذار.

ولعل فكرة هدم القنادس سدودها لإعاقة تقدم عدوها تبدو على شئ من الخيال، ومع ذلك، فإنها طريقة أخرى من الطرق التي يقتبسها الإنسان من القنادس، فكثيرا ما تفتح السدود في وقت الحرب، كما حدث عندما كسر الهولنديون سدودهم خلال الحرب العالمية الثانية لمراوغة الغزاة الألمان، أو بعد ذلك ببضع سنوات عندما حطم الجيش الروسي في تراجعه أمام الغزو النازي جزءا من سد دنبروستروي الشهير في أوكرانيا، حتى لا تسقط محطة القوى الكهربائية في أيدي رجال هتلر.

وسدود القنادس تفيد الانسان كما تفيد صانعيها، فبحيرة القندس يترسب فيها الطمي الذي يجلبه النهر إليها. وعند فتح السد تتدفق المياه المحملة بالطمي إلى مساحة واسعة من الأرض فينتقل الخصب إليها، وينشأ عن ذلك ما يسميه المزارعون هناك "مروج القنادس" حيث تجود الأرض بأطيب المحاصيل.

وقد جندت حكومة الولايات المتحدة القنادس للعمل ففي عام ١٩٣٨ جئ بألف قندس إلى "ايداهو"، لبناء سدود صغيرة تساعد على حفظ الماء وخصوبة الأرض. فالجداول السريعة التدفق تشق لها قنوات خلال الأرض الخصبة فتجرف معها طميها، والقنادس تعوق هذه العملية. ويستخدم اليوم كثير من ملاك الأراضي القنادس في بناء السدود في مناطق يصعب أو يستحيل فيها إقامة سد من صنع الانسان. وفصيلة القنادس الهندسية تستطيع أن تعمل في المناطق الوعرة بين المستنقعات التي تخشى الهراسات أن تطأها، وهكذا كانت القنادس نعمة لكثير من الفلاحين. وهذا تطور حديث نسبيا في فلسفة الاحتفاظ بالثروة في أمريكا. فمنذ القرن السابع عشر حتى التاسع عشر، كان الناس يصطادون القنادس دون هوادة من أجل فرائها حتى كادت تنقرض في كثير من أنحاء القارة. ويحظر اليوم صيد القنادس حظرا باتا، أللهم إلا في المناطق التي بدأت تتكاثر فيها من جديد. ثم إن تقدير خدماتها في بناء السدود التي تحل مشاكل تآكل التربة قد أضفت عليها قيمة تفوق كثيرا سابق قيمتها كمصدر للفراء.

وسدود القنادس أبسط نماذج السدود: مجرد حاجز، لا مجال فيه لبوابات أو قنوات تحويل، ولا مكان فيها للتوربينات أو المضخات أو الأنفاق أو سلالم الأسماك أو أهوسة الملاحة لا شئ من التطورات العديدة التي سوف نعرض لها بالتفصيل في الأبواب التالية. وسد القندس

لا يعدو أن يكون مجرد جدار يحجز ماء جدول. وهو جدار بارع التركيب بطبيعة الحال، إنه شئ عجيب مدهش – لكنه مجرد جدار عبر جدول، لا أقل ولا أكثر.

سدود من صنع الإنسان

ولعل أول سدود من صنع الإنسان لم تكن تتجاوز سدود القنادس في في بساطتها. وربما كان أول إنسان فكر في بناء سد قد اقتبس الفكرة من مراقبته للقنادس أثناء قيامها بالعمل. وهي لا توجد في أمريكا الشمالية فحسب، بل كذلك في بعض بقاع أوربا وآسيا، كما أنها كانت في غابر الزمن أكثر انتشارا مما هي الآن. ولعل رجالا من ذوي الذكاء والفطنة في كثير من أنحاء العالم قد تهيأت لهم من آلاف السنين فرصة ملاحظة القندس أثناء قيامه بالعمل في بناء السدود. ولا سبيل لنا إلى معرفة أين أو متى بنى الإنسان أول سد من صنعه. على أن في وسعنا أن نستنتج مما يتيسر لنا من المعرفة أنه بنى سده الأول منذ نحو ثمانية أو عشرة آلاف عام في مصر، أو في بلاد الرافدين فيما بين دجلة والفرات أو ربما في الصين.

ويدفعنا إلى الحدس والتخمين بين هذه البقاع الثلاث أن ذكاء الإنسان قد اكتمل نضجه فيها قبل أية بقعة أخرى. فقد كانت لمصر والعراق والصين جميعا حضارات مزدهرة مترفة قبل أوربا وأمريكا بآلاف السنين. ونظرا للمناخ الصالح للتوسع الفكري في هذه المناطق الثلاث من العالم في عصور ما قبل التاريخ، فإنه يكاد يكون من المؤكد أن فكرة السدود قد نبتت في منطقة منها. أما عن تاريخ ذلك، فالمعروف لنا الآن

أنه كانت هناك سدود يعتد بها من خمس آلاف سنة، فإن علوم الآثار القديمة تحدد لنا عمر ما تبقى من تلك السدود بصورة قاطعة. ونظرا لأنه في ظل التطور البطئ نسبيا في الأساليب الفنية المستخدمة قبل التاريخ، كان لابد من مرور آلاف السنين لتنقيح فكرة السدود والوصول بها إلى المرحلة التي بلغتها سنة ٣٠٠٠ قبل الميلاد، فإن في وسعنا أن نفترض أن السدود الآدمية الأولى كانت قد عرفت قبل ذلك بما يتراوح بين ٣٠٠٠ و ٥٠٠٠ سنة. ومهما يكن الزمان أو المكان الذي قام فيه أول سد في حياة الإنسان، فإنه يكاد يكون من المؤكد أن الغرض منه كان ري الأرض. وربما لاحظ مصمم هذا السد القنادس وهي تبني سدودها، أو لعله توصل في طفرة واحدة إلى هذه النتيجة المدهشة التي تبدو لنا بسيطة ساذجة. هي أنك إذا أقمت حاجزا عبر جدول ماء تجمعت المياه أمامه وتكونت بحيرة. وكان أول سد مجرد كومة بدائية من الطين و أفرع الشجر والأحجار، لا ترقى إلى المستوى الفني لسد القنادس. ولابد أن بانيه قد مر في وقت عصيب، إذ حتى لو أنه اختار نهيرا هادئا ليقيم عليه سده، فإن سيل الماء المستمر كان كفيلا بأن يجرف معه أي مواد بنفس السرعة التي يقذف بها فيه. لكنه عندما اقبل على عمله عبر مجرى ضيق في وقت تشح فيه مياه الغدير، استطاع أخيرا أن يتم بناء حاجز يمتد بين الضفتين. وأخذ الماء يرتفع، وبدأت تتكون بحيرة. وكانت البحيرة ذاتها عديمة القيمة أللهم إلا للسباحة، لكن ابتكارا كبيرا آخر أكسبها قيمة جديدة، وهو "المسقى" أو قناة الري. فإن أول مهندس من البشر أخذ

يشق الأرض بالأحجار والعصى المدببة فصنع قنوات بدائية معوجة تخرج من بحيرته وتمتد إلى الحقول المجاورة. وبدأ الماء يفيض من البحيرة ويطفئ ظمأ الزرع. وهكذا لم يعد الفلاح تحت رحمة عناصر الطبيعة كلية. كذلك لم يعد لزاما عليه أن ينتظر المطر ليروي زرعه. وفي وقت الربيع وتدفق النهر يمكن تجميع المياه في الخزان الذي يتكون أمام السد، بحيث يتيسر بعد ذلك جلب الماء منه أيام القيظ والجفاف خلال فصل الصيف ليروي الحقول.

ويبدو الأمر واضحا لكن هذا الوضوح لا وجود له إلا بعد أن يتم لأول مرة. أنظر مثلا هذه المعرفة التي كان لابد من أن تتجمع لدى الإنسان قبل أن تنبثق فكرة بناء السدود وشق قنوات الري. كان لابد من أن يتحول الناس من مرحلة جمع الطعام من الأشجار إلى إنتاج حاجتهم منه. وكان عليهم أن يتعلموا أي المحصولات يزرعونها وكيف يفعلون ذلك. وكان لابد من أن يتوصلوا إلى الاكتشاف الأساسي، بأنه بدون الماء لا ينمو الزرع. كما كان عليهم أن يتعلموا كيف يحفرون الأرض ويبنون المساكن. ثم كان لابد لهم أن يتبينوا تتابع الفصول، ووقت الفيضان وموسم هبوب الريح.

واستغرق الأمر آلاف السنين لتصبح هذه المعلومات الأساسية جزءا من حصيلة الإنسان من المعرفة الثمينة النامية. ثم بدأت بعد ذلك مرحلة بناء السدود أو التحكم في مياه الأنهار. وقد بنى الأقدمون كثيرا

من السدود التي لا زالت آثارها باقية إلى الآن. ففي بلاد الرافدين فيما بين دجلة والفرات انبثقت ثقافة على درجة رفيعة من الحضارة، من نحو خمس آلاف سنة. وكان أول من قطن هذه البقعة ممن نعرف عنهم الكثير هم الصومريون الذين عاشوا في وادي الفرات، حيث تعرضوا لأذى الفيضانات الداهمة حتى بنوا سلسلة من السدود لتحجز المياه الفائرة أمامها. ولم تتيسر الحجارة للسومريين، ولذا بنوا سدودهم من أكوام الطين المدعمة بالطوب المجفف بحرارة الشمس، وحجزوا المياه بهذه المصاطب. وكان الجزء الجنوبي من مملكتهم مستنقعا فنفذوا فيه أول مشروع عرفه الإنسان لاستصلاح الأرض، فأقاموا الجسور وشقوا المصارف التي صممت لإحالة أرض المستنقع إلى مزارع خصبة، وخلال فترة امتدت إلى بضعة آلاف من السنين أصلح الصومريون آلاف الأفدنة من أرض المستنقع بهذه الطريقة، وانبثقت مدنهم من طين الخليج الفارسي. وكانت هذه العملية من البراعة. بحيث أن بعض المدن الصومرية التي كانت قد أنشئت في مبدأ الأمر على ساحل الخليج الفارسي لم تعد على الساحل بل أصبحت الآن متوغلة عدة أميال داخل الأرض بعد استرداد كل شبر جنوبها من أرض المستنقع.

وجاء البابليون بعد الصومريين ليحكموا بلاد الرافدين، وتابع هؤلاء القوم الجدد مشروعات سابقيهم الكبرى. واشتهرت مدينة بابل من أربع آلاف سنة بقناتها الضخمة العجيبة المعروفة "بالنهروان"، وكانت تبلغ

أربعمائة قدم عرضا ومائتي ميل طولا. وكانت قناة "النهروان" تنقل ماء الري من نهر دجلة البعيد إلى الحقول المحيطة ببابل. وكان هناك سد ضخم عبر النهر ينظم إمداد القناة بالمياه فيجمع الماء أمامه ويرتفع مستواه حتى يتدفق إلى القناة ويبدأ رحلته الطويلة إلى بابل. ولم يتبق إلى اليوم شئ من هذه الأعمال الهندسية المائية من أيام البابليين الأول على أنه في الجزء الشمالي من بلاد الرافدين تقلد الحكم منذ نحو ثلاث آلاف سنة جنس مقاتل يمت بصلة القرابة إلى البابليين. وبنا آثارا دائمة من الحجر. وكان هؤلاء هم الآشوريين الذين غزوا حضارات الشروق القديمة وسجلوا صفحات دامية في تاريخ العالم.

وبنى الآشوريون سدودا حجرية بسيطة عبر نهر دجلة في مواقع كثيرة لتحويل الماء لري الأرض. وأقاموا مدنا كبيرة قوية، مثل نينوى وآشور، نمت نموا عظيما بفضل زيادة خصوبة الأراضي المحيطة بها بالوسائل الصناعية. ولم يقتصر الآشوريون على استخدام المساقي، بل استخدموا كذلك القناطر الحجرية لجلب الماء إلى مدنهم. ومن أبدع هذه القناطر تلك التي بناها في القرن الثامن قبل الميلاد الملك المستبد "سنخريب"، ويبلغ طولها خمسين ميلا لإمداد عاصمته نينوى بالماء من جدول بعيد. وقد أقيم سد على الجدول حتى يعلو ماؤه وينساب إلى القناطر والسد المشيد عبر نهر لمجرد دفع الماء إلى ممر أو قناة كثيرا ما يسمى "هدار".

وقد استمرت عملية بناء السدود في بلاد الرافدين فترة امتدت

أربع آلاف سنة على الأقل. على أنه بعد عهد "سنخريب" سقطت آشور في أيدي أعدائها، وتدهورت مدنها الكبرى، وانهارت سدودها واحدا في إثر الآخر، وزحفت الصحراء على الأرض الخضراء من جديد. واليوم بعد مرور ألفين وخمسمائة عام على سقوط آشور مازالت أغلب بلاد الرافدين أرضا صحراوية، إذ كانت موضع إهمال شنيع من أيام المسيح. وقد نهض مؤخرا أحفاد الآشوريين والبابليين فبدأوا في التحكم في النهرين الكبيرين دجلة والفرات، ولن تلبث الوديان التي اندثرت أن تسترد خصبها فتزدهر الزراعة فيها من جديد. وإلى أن يتحقق لها ذلك ستظل الآثار الباقية من السدود الآشورية المنهارة ناتئة على جنبات نهر الفرات رمزا يشهد بمجدها التليد.

سدود مصر القديمة

إزدهرت الحضارة في نفس الوقت تقريبا في كل من بلاد ما بين النهرين (العراق)، ومصر. وبينما راح الصومريون ومن جاء بعدهم يكدحون في إصلاح أرض المستنقع وشق القنوات لنقل ماء دجلة والفرات إلى الحقول، قنعت بلاد الفراعنة بالنيل العظيم. فالنيل مجد مصر وكنزها، وهو مصدر ثروتها وقوتها. ولكن النيل جلب أيضا مع الفيضان الآلام والدمار إلى مصر. وهكذا منذ أقدم عصور الحضارة، شغل حكام مصر بإيجاد نظام الترع للتصرف في مياه الفيضان. وقد اقتضى هذا بناء "الهدارات" أو القناطر عبر النيل في مواضع مختلفة،

لرفع منسوب المياه حتى تنساب إلى الترع ومنها إلى القنوات الصغيرة ثم إلى الحقول في نهاية المطاف. وينبع النهر الطويل من البحيرات الاستوائية، ويتدفق شمالا مسافة تزيد على أربعة آلاف ميل حتى يصب في البحر الأبيض المتوسط. وتبلغ مساحة حوضه نحو مليون ومائة ألف ميل مربع، أو ما يقرب من عشر مساحة القارة الأفريقية.

وقد استقر السكان في وادي النيل من آلاف السنين. وما أن جاء عام ٣٤٠٠ قبل الميلاد، حتى كانوا قد بلغوا مستوى حضاريا رفيعا يضاهي حضارة السومريين شمالا والصينيين في أقصى الشرق. ولقد كان وادي النيل في الأصل سلسلة من الآكام والمستنقعات التي ينبت فيها البوص والبردي، ولا يقطنها في الأعم إلا فرس النهر (سيد قشطة). واضطلع قدماء المصريين في عصور ما قبل التاريخ بمهمة تطهير المستنقعات وتهيئة الأرض للزراعة. وتم لهم ذلك. وخلاف آلاف السنين التي استغرقتها مرحلة استصلاح الأرض، عرف المصريون دورة الفيضان السنوية للنيل: عرفوا أنه خلال الربيع والصيف يكون ماء النهر منخفضا، وتتحمل الأرض المحيطة به قيظ الشمس الإفريقية اللافحة، ثم تسقط الأمطار في موسط الصيف في الجنوب على هضبة الحبشة، ويتجمع الماء في النهر شيئا فشيئا ويفيض به، إذ ينساب شمالا، ويطغى النهر على ضفتيه. وتحمل مياه الفيضان الطمي أو الغرين من هضبة الحبشة وبذا تزيد خصوبة الأرض في الشمال ثم تتوقف الأمطار وينحسر

فيضان النهر مخلفا وراءه الهبة التي أتى بها: طمي الخصب الذي يجلبه من الجنوب. وهكذا يزرع المصريون الأرض الخصبة في نهاية أكتوبر فتجود بالمحصول في الربيع. ثم يأتي الصيف القائظ، وفي إثره الأمطار جنوبا والفيضان شمالا، وتبدأ الدورة من جديد. وسرعان ما عرف المصريون أن حقولهم يغمرها ماء الفيضان كل عام من شهر يوليه إلى شهر أكتوبر، ثم تصبح خصبة بشكل بديع خلال الشتاء المعتدل، وأصبح من الممكن التنبؤ بوقت الفيضان وموعد انحساره بدقة.

ولكن رغم ما يجود به النهر كل عام من خير عميم، رأى المصريون القدماء أنه يمكن أن يكون أكثر سخاء إذا تحكموا فيه. وهكذا ظهر في الوجود نظام معقد رائع من سدود التحويل فيما بين عامي ٣٤٠٠ و١٥٠٠ قبل الميلاد، فأقيمت السدود والحواجز على ضفاف النيل لتحول دون إغراق الأرض بماء الفيضان، ثم شقت الترع لتحمل الماء بطريقة منظمة إلى الحقول. وخلال العصور الذهبية التي امتدت آلاف السنين في مصر انتشر هذا النظام من السدود في أعالي النهر وأسافله بما عاد على الزراعة بالخير العميم.

وكانت الأيدي العاملة متوفرة، وإن لم تكن دائما راضية مرضية. وأمكن لنفس الأيدي التي بنت الأهرام الهائلة أن تجئ بكتل الأحجار لبناء السدود كما أمكن لنفس المهندسين الذين ابتدعوا تلك العجائب في العالم القديم أن يكرسوا مواهبهم لمشروعات التحكم في الفيضان.

والحضارات الإنسانية كلها تزدهر ثم تبلغ مرحلة اضمحلال، تمتد فيها يد الخراب إلى معالمها. وقد حدث هذا في مصر أيام الرومان عندما ولى عهد الفراعنة، ومضى ألف عام أو أكثر على مجد المصريين القدماء. وسمح القوم لروائع أشغال الري المقامة على النيل أن تختل وتنهار، ثم تستسلم في النهاية لغضب الفيضانات السنوية وبطشها. وأحسن ما تبقى من آثار سدود مصر القديمة لم يكن سدا لري الأرض على الإطلاق، بل سدا كان يستخدم لتخزين مياه الأمطار والسيول لعمال محجر من محاجر الرخام في واد ضيق يعرف بوادي جراوي، يمتد عبره سد طوله ٣٧٠ قدما. وكان سمكه في الأصل ٢٧٠ قدما، مبنيا من الحجر. وبعد فترة اضمحلال ظلت أكثر من عشرة قرون، بدأ المصريون يستأنفون شق ترعهم وبناء سدودهم في العصر الإسلامي، ثم أقيمت سلسلة من القناطر (السدود الصغيرة) عبر النيل من منتصف القرن الثامن عشر، تحبس الماء وتفتح مجاريه في الترع كل أسبوعين أو ثلاثة، فينساب إلى الحقول على نوبات طوال العام. وقد أتاح هذا النظام زراعة بضعة محاصيل في وادي النيل كل عام، بدلا من الأقتصار على المحصول الشتوي في أعقاب الفيضان السنوي.

وقد تم بناء أول سد حديث على النيل سنة ١٩٠٢ في أسوان، فكان خزان أسوان عملا هندسيا كبيرا نوعا ما، كفيلا بأن يذهل المهندسين البارعين الذين صمموا سدود مصر القديمة وآثارها من آلاف

السنين. ولما كنا نعرض لنهر النيل، فلنستبق أحداث القصة وننتقل عبر القرون لنلقي نظرة على خزان أسوان. وصمم هذا السد كما صممت السدود من ٣٠٠٠ سنة لغرض أساسي، هو التحكم في الفيضان وتحسين الري في وادي النيل والتمكن من الملاحة على طول النهر. وكانت هذه استخدامات لا تدل على فهم الفراعنة. ولكن أصبحت للسدود أغراض أخرى تطورت منذ أيام بناة الأهرام. وهكذا، فإن خزان أسوان قد صمم أيضا لتوليد الكهرباء وقد اختير موقع الخزان هناك، لأن النهر في أسوان ضحل وله قاع من الجرانيت يمكن بناء أساس متين عليه. وينساب النهر خلال خمس قنوات في أسوان، بسرعة تبلغ في المتوسط ستة عشر ميلا في الساعة.

وأول خطوة في إقامة سد على نهر كبير هي تحويل مجرى الماء لتتهيأ الفرصة لأعمال البناء. وقد أتم المهندسون الذين عملوا بأسوان في نهاية القرن هذه المهمة ببناء حاجز دائري حول المنطقة التي اختيرت لأساس السد على الجانب الشرقي. وفي وقت انحسار النهر نزحت مياه المنطقة وسمح لماء النهر بالأنسياب خلال القناتين على الضفة الغربية، بينما أخذت أعمال الإنشاء تتم في القنوات الثلاث الشرقية. وكان لابد من إنجاز العمل كله قبل موعد فيضان النيل. فراحت فرق العاملين تتناوب العمل دون انقطاع يحفرون قاع النهر إلى عمق ٤٠ قدما بغية إرساء أساس السد. وفي يوم واحد بلغت مواد البناء المستخدمة ٣٦٠٠

طن، وكان هذا يعتبر عملا أسطوريا في ذلك الحين. وبعد بناء هذا الأساس أعدت فيه العيون، وحول مجرى الماء إلى القنوات الشرقية، بينما استمر العمل في القناتين الغربيتين، وأخيرا تم بناء السد سنة ١٩٠٢ وبلغت تكاليفه ١٥ مليون دولار. وبلغ ارتفاعه ١٢٠ قدما من الأساس، وامتد ميلا ونصف ميل من الشاطئ إلى الشاطئ، وبلغ سمكه عند القاعدة مائة قدم، كما بلغ عرض حافته العليا ٢٤ قدما امتد عليها طريق على طول قمة السد.

وحجز السد خزانا سعته بليون طن من الماء، وأعدت فيه مائة وتمانون عينا، مائة وأربعون منها على طول الجزء السفلي من السد، وأربعون على طول الجزء العلوي. وفي نهاية موسم الفيضان يملأ السد خزانه بالماء، ثم خلال أشهر التحاريق تفتح بوابات العيون فينطلق منها الماء منسابا شمالا ليروي ظمأ الحقول العطشى في أعالي الوادي. على ان الخزان بسعته البالغة بليون طن من الماء لم يكن كافيا لري الحقول الظمأى في مصر. وفي عام ١٩٠٧ بدأ تنفيذ عملية لرفع مستوى الخزان ٢٣ قدما، وهذا يزيد سعته بليونين وأربعمائة مليون طن من الماء. ولكي يتيسر ذلك، كام لابد من زيادة سمك قاعدة الخزان، وتم هذا على مرحلتين. فقد ركبت أولا مئات من قضبان الصلب في واجهة جدار السد القديم. وأقيم البناء الجديد حول هذه القضبان، مع ترك مسافة فارغة تتراوح بين بوصتين وست بوصات. وبعد مرور عامين، ملئ الفراغ

بالأسمنت المنقول بالمضخات خلال أنابيب مرنة. والسبب في ذلك إتاحة الفرصة لانكماش البناء الجديد قبل وصله بالقديم وتمت تعلية السد مرة أخرى بعد الحرب العالمية الأولى حتى تبلغ سعة الخزان قرابة خمسة بلايين طن من الماء. لكن، حتى هذه الكمية لم تكن كافية لتلبية حاجة مصر المتزايدة. ولذا قررت حكومة الثورة أن تبني سدا عملاقا في أسوان هو "السد العالي" كان أول هدف استهدفه بناة السد حفر قناة جانبية طولها ١٩٥٠ مترا حول إليها مجرى مياه النيل بعد بناء سد أمامي ارتفع ٥٠ مترا من قاع النهر، وكان لابد من شق هذه القناة بتفجير تلال من صخور الجرانيت الصلبة التي بلغ ارتفاعها من مائة إلى مائتي قدم، وقامت بالعمل قوة قوامها ٣٤ ألف عامل ظلوا يعملون كادحين ليلا ونهارا، حتى تتم العملية في الموعد المحدد لها، ثم يبدأ العمل في المرحلة الثانية في بناء جسم السد الرئيسي ومن الصور القاتمة في بناء السدود أنه لا مندوحة من أن تتعرض القرى والمدن التي تقع في منطقة الخزان للغرق. وهذه مشكلة لها أهميتها في مصر، إذ أن وادي النيل غني بالكنوز الأثرية. وعندما أقيم خزان أسوان سنة ١٩٠٢ نجم عن ذلك إغراق جزيرة فيلة المقام عليها معبد إيزيس البديع. وهذا المعبد الذي كان يسعى إليه الحجاج في لهفة من كل مكان في العالم القديم، يكاد أن تنطمس معالمه بمياه الخزان، ولا يظهر إلا فترة قصيرة في شهر أغسطس من كل عام.

سدود الصين القديمة

كان التحكم في مياه الفيضانات من المشاكل الكبرى التي واجهتها الصين دائما. وأنهار الصين تغير اتجاه مجراها دون أقل مبالاة بأوجه نشاط الإنسان، فتغرق مناطق حسبت نفسها بمأمن من الفيضان. وتقول أسطورة صينية قديمة "إن النهر الأصفر يفيض كل ثمانين عاما، ويغير مجراه كل مائة وثمانين عاما".

وفيضانات الصين شديدة الوطأة مدمرة الأثر بصورة قد لا يتصورها من لم يرها بنفسه. ففي عام ١٩٣١ ذاد مستوى ماء نهر "يانجتسي" خمسين قدما فوق مستواه المعتاد فاجتاح أميالا من الجسور وأغرق آلاف الأميال المربعة من المناطق الكثيفة السكان في ريف الصين، وأهلك ١٨٠٠٠٠ نسمة – أو ما يوازي جميع سكان مدينة مثل ناشفيل بأمريكا – كما شرد ٢٥ مليون نسمة وتركهم دون مأوى أو مأكل، أي ما يوازي سكان نيويورك وطوكيو ولندن مجتمعين. ولمكافحة هذه الفيضانات لجأ الصينيون من قديم الزمن إلى إقامة الجسور على ضفاف الأنهار. وأقدم برنامج معروف للتحكم في الفيضانات بدأه الإمبراطور "يو" عام ٢٢٠٥ قبل الميلاد، لكن لاشك في أن حكام الصين كانوا يقيمون الجسور من قبل أن يسجل التاريخ الأسماء. وكان لدى الإمبراطور "يو" نظامان للتحكم في الفيضان، هما بناء الجسور وزيادة عمق قنوات الأنهار.

ووجد الصينيون أن تعميق القنوات ليس أمرا سهلا، وأنهار الصين تحمل في الغالب رواسب الطمي الذي يتجمع في قاع النهر فيرفع مستواه. وإذا كانت الأنهار ضحلة، لم يكن مفر من بناء السدود المرتفعة لتحيط بها. وهكذا راح الصينيون من آلاف السنين يزيدون من ارتفاع الجسور على طول ضفتي يانجتسي وهوانج هو (أو النهر الأصفر) وغيرهما من أنهار الصين. لكن تكرار هجمات العدو قوض جهود بناء السدود، كما أن الصينيين يلجأون بين الحين والحين إلى تدمير جسورهم لصد العدو كما فعلوا عام ١٩٣٨ خلال الحرب مع اليابان.

وبينما بنيت السدود في مصر وبلاد ما بين النهرين من أجل ري الأرض وتخزين الماء، كان التحكم في الفيضان ومازال هو الغرض الأول في الصين القديمة والحديثة. على أنه كانت هناك أنظمة الري أيضا. وقد أقيم نظام توكيانجين من ٢٣٠٠ سنة على نهر "مين" الذي ينساب من هضبة التبت ليغطي سهلا واسعا في الصين. وأقيمت سلسلة من السدود والجسور عند التقاء النهر بالسهل، وأمكن ري ٥٠٠,٠٠٠ فدان بهذه الشبكة من الحواجز المصنوعة من الخيزران والصخور لتحويل الماء إلى القنوات.

سدود أثرية أخرى

يمكن مشاهدة بقايا سد من أعظم السدود في العالم القديم في ركن قصي من الجزيرة العربية، وهو سد مأرب في اليمن. وهذا البناء الشامخ كان يصح أن يكون إحدى العجائب السبع في الدنيا القديمة، لو

أن الإغريق الذين حددوا تلك العجائب علموا بوجوده! وهناك كان يقيم قبل ظهور الإسلام باثنى عشر قرنا من الزمان، قوم سبا الذين اندثرت آثارهم، حيث بنوا مدينة عظيمة وشيدوا سدا ضخما ليمدها بحاجتها من الماء. ولم يكن من السهل إلى عهد قريب زيارة اليمن ومشاهدة سد مأرب، وقد استطاعت قلة من علماء الآثار التوغل في الصحراء لمشاهدة بقايا هناك. وكان من بينهم "وندل فيليبس" و"ويليام أولبرايت" أستاذ جامعة هوبكنز الذي جال في أنحاء اليمن عام ١٩٥٠ ويصف وندل فيليبس سد مأرب في كتابه "قطبان وسبا": "يقع السد على مسيرة أميال قليلة من المدينة القديمة، وهو في واقع الأمر سلسلة من السدود، ما زالت بعض أجزائها قائمة وقد شاهدنا أجزاء من سفح الجبل نحتت على طول السد لتهيئة مسالك ينساب منها الماء لري الحقول المجاورة. وكان السد بمثابة نظام تحكم مركزي في ماء السيول المنهمرة من جبال اليمن، أو هو بقعة يختزن فيها الماء ويوزع ليبعث الحياة في الحقول النضرة التي أخذت تمتد ميلا بعد ميل وكان مما أثار دهشتنا، الطريقة التي ثبتت بها صخور الجدران الحجرية الكبيرة بعضها ببعض. فالصخور الضخمة معدة إعدادا بارعا لتركب في بعضها البعض بإحكام كأنها أجزاء لغز الصور المقطوعة. ولم نلحظ أي أثر للمونة أو الملاط من أي نوع، لكننا شهدنا أجزاء من الجدار يزيد ارتفاعها على خمسون قدما، قائمة كما كانت يوم فرغ من بنائها الفنانون العظام أيام حضارة سبا من نحو ٢٧٠٠ سنة وكانت بعض أجزاء البناء الضخم ناقصة، بعد أن دمرتها ولا ريب عاصفة

السحب الكبرى والفيضانات التي حدثت في القرن السادس".

ولعل الكاتب هنا يشير إلى حقيقة وردت عن فيضان دمر سد مأرب، فكان هذا إيذانا بأفول نجم حضارة سبا. فقد ورد القرآن الكريم "لقد كان لسبإ في مسكنهم آية جنتان عن يمين وشمال، كلوا من رزق ربكم واشكروا له، بلدة طيبة ورب غفور. فأعرضوا فأرسلنا عليهم سيل العرم وبدلناهم بجنتيهم جنتين ذواتي أكل خمط وأثل وشئ من سدر قليل، ذلك جزيناهم بما كفروا وهل نجازي إلا الكفور".

وطبيعي أن السدود التي صمدت لاندفاع السيول طوال عشرة قرون لا تنهار هكذا بين عشية وضحاها في الظروف الطبيعية. بل إن عوامل التعرية والتلف والانهيار تستمر سنوات طويلة دون أن يشعر بها أحد – حتى تأتي الطامة في النهاية كصدمة مفاجئة، وإن كان هذا لا ينبغي أن يكون. ويرجح علماء الآثار أن حضارة سبا بلغت أوج مجدها في بداية عهد المسيحية، ثم أخذت تضمحل شيئا فشيئا حتى جاء الوقت الذي لم يعد أحد يبالي فيه بالسد، واتسعت شقوقه الصغيرة التي لو حدثت أيام مجد مأرب التليد لأوقف خريرها فورا، وضعف كيان السد بالتدريج، حتى إذا ما نزلت الصاعقة الكبرى لم يعد السد يقوى على صد السيول، وانهار البناء وعادت الحقول الغناء صحراء يبابا. لكن انهيار السد كان نتيجة، لا سببا، لاضمحلال مملكة سبأ.

ولم يحظ بمشاهدة سد مأرب إلا القليلون، ورآه الغرب لأول مرة

عام ١٧٦٢، كما شاهدته بضع بعثات أخرى في القرن التاسع عشر، واضطرت بعثة فيليبس وأولبرايت إلى الفرار من اليمن عند اندلاع ثورة هناك عام ١٩٥١ تاركة وراءها بعض مهماتها وكانت هناك حضارة عربية أخرى لها نشاط هندسي خارق في عصور ما قبل المسيح خلقت آثار سدود في صحراء النقب بفلسطين، وكان أصحاب هذه الحضارة هم البنطيين الذين ازدهرت حقولهم الخضراء وسط الصحراء الجرداء. ويصف نلسون جلوك عالم الآثار الشهير هؤلاء الأنباط بأنهم "من أبرع الشعوب التي اجتازت مرحلة التاريخ". وصحراء النقب لا يتجاوز معدل سقوط الأمطار فيها أربع بوصات في السنة. ولا تأتي الأمطار إلا شتاء بصورة انفجارات مفاجئة للسحب، وتربة الصحراء صلبة جافة ولا يتخللها ماء المطر، بل يدفع خلال الوديان الجافة ويتجمع حتى يصبح سيولا منهمرة تغترف الطمي من التلال في طريقها، ونتيجة لذلك تكون الصحراء أغلب السنة شديدة الجفاف، لكن الوديان تصبح خلال أمطار الشتاء قنوات للسيول الجارفة. رأى قدماء الأنباط أن أملهم الوحيد في تنمية الزراعة كان معلقا بالتحكم بطريقة ما في فيض الماء عبر الوديان، والسيطرة على فيضانه والانتفاع به خلال شهور الجفاف، وتم لهم ذلك ببناء سلسلة من المصاطب الحجرية عبر الوديان للتصدي للمياه المنهمرة وإبطاء سيرها – وكانت المصاطب تقام عبر وديان قليلة تمتاز بسوار من التلال العالية التي تمتد على جوانبها، وتتدرج المصاطب والشرفات واحدة بعد أخرى، بحيث إذا اضطدمت بها مياه الفيضان

ترسب عليها ما تحمله من طمي خصيب، وبذا تتيسر زراعة المحاصيل عليها بعد انحسار الفيضان أما الوديان الرئيسية فقد لقيت مزيدا من التخطيط الهندسي، وقسمت بجدران من الحجر والطوب إلى أحواض مستوية تمتلئ بماء السيول المتفجرة، فإذا امتلأت تدفق الماء إلى مساحات مسورة حولها، معدة على أرض أكثر ارتفاعا. وهكذا، فإنه بدلا من أن يكون ثمة فيض واحد من الماء المتفجر يجتاح الوادي ويغترف من تربته، تتكون البحيرات الهادئة وتشق منها قنوات الري وتختزن مياهها في صهاريج مغطاة.

وتوجد في بعض الوديان قنوات بعيدة الغور، حيث لا يتيسر تنفيذ فكرة المصاطب.

وهنا عمد الأنباط إلى بناء سدود حجرية سميكة في مجموعات متكررة لتعويق اندفاع السيل، وتيسير رفع المياه إلى مستوى المصاطب على ضفتي الوادي. وكانت هناك ممرات مائية حجرية على السدود لتحويل مجرى المياه إلى الحقول. ولكيلا يغير مجرى الماء اتجاهه، أقيمت جدران ضخمة من الحجر على امتداد قناة السيل كلها حتى تكون لها حدود دائمة وهذا النظام الدقيق البارع للتحكم في ماء السيول، كان عملا هندسيا مكتمل الأركان، لأن كل جزء من النظام كان يؤدي دوره بما يتلاءم مع دور جزء آخر. وهكذا، أمكن التحكم في مياه السيول وتخزينها لاستخدامها في أشهر الجفاف. ويتضح من قراءة مخلفات أولئك القوم

من أبناء الصحراء على أوراق البردي، أنهم زرعوا القمح والشعير والبقول والتين والكروم والنخيل، كذلك يتضح أنهم كانوا يجنون من حصاد الشعير ثمانية أضعاف ما غرسوه من بذوره، أما القمح فكان محصوله سبعة أضعاف بذوره. وهذا يعتبر تفوقا على الزراعة اليوم في صحراء النقب، فإن أحسن المحاصيل في المناطق الشمالية التي يزيد فيها المطر على سائر الصحراء وتستخدم فيها الوسائل الهندسية الحديثة لا يتجاوز أحد عشر ضعفا لبذور الشعير وثمانية أضعاف لبذور القمح.

وفي عام ١٠٦ بعد الميلاد، احتل أرض الأنباط جيش روماني وعاشوا طوال ستة قرون كرعايا للدولة الرومانية، ثم أقفرت المدن النبطية من سكانها شيئا فشيئا وظلت مهجورة، حتى بدأ علماء الآثار مؤخرا في دراسة أطلالها بغية الوقوف على أسرار التحكم في ماء الفيضان من قديم الزمن.

كذلك كانت هناك في العالم القديم سدود تبنى في كل مكان، بغرض خزن مياه الشرب والري أساسا، وأحيانا للتحكم في مياه الفيضانات أيضا. وقد شيد قدماء الرومان كثيرا من السدود الكبيرة، لازالت آثارها باقية في أنحاء أوربا والشرق الأدنى. وفي سيلان أطلال خزان بني عام ٥٠٤ قبل الميلاد، بينما بني خزان آخر يعرف بصهريج "بادافيل – كولان" بإقامة سد ترابي طوله أحد عشر ميلا وارتفاعه سبعون قدما، بكمية من التراب تبلغ ١٧ مليون ياردة مربعة وثمة سد قديم آخر مشابه له في الهند القديمة طوله ثلاثون ميلا شيد بدون هراسات. وحيثما

تعاقب الجو الحار الجاف والجو الرطيب الممطر، أصبحت السدود والخزانات ضرورة لا محيص عنها إذا أريد للزراعة أن تستمر على مدار السنة. وهكذا نشأت فكرة السدود من تلقاء نفسها في كثير من جهات العالم. ففي نصف الكرة الغربي مثلا (أمريكا)، قبل أن يطأه الرجل الأبيض، لم يكن ثمة مبادلات تجارية مع أمم العالم القديم، ولم يكن ثمة وسيلة لتعلم أسرارها في بناء السدود، ومع ذلك، أقيمت الخزانات وقنوات الري بمعرفة قبائل الأزتيك في المكسيك وغيرهم من شعوب الدنيا الجديدة. ثم إن الهنود في فيافي جنوب غرب الولايات المتحدة شيدوا سدود الري الصغيرة من مدة تتراوح بين ثمانمائة وألف سنة. فالفكرة إذن فكرة عالمية.

سدود المرمر في راجبوتانا

وفي الهندسدان على جانب كبير من الروعة المعمارية، وهما جديران بالإشارة إليهما هنا، وإن لم يكونا في الواقع من الآثار القديمة. وهما سد "جاي سامند "وسد "راج سامند"، ويقعان في تلال أرافاللي في ولاية راجستان الهندية (راجبوتانا). والظاهرة الغريبة التي ينفرد بها هذان السدان اللذان أقيما في القرن السابع عشر أنهما مشيدان من الرخام النقي الأبيض المصقول – ولذا فهما على الأرجح أجمل السدود التي بناها الإنسان. وأصغر هذين السدين يقع في جاي سامند (بحر النصر)، وهو بحيرة صناعية يزيد محيطها على تسعين ميلا. وقد أمر "جاي سنغ"

ملك راجبوت ببناء سد طوله ألف قدم يحول دون انسياب مياه قناة جبلية. ويمتد سلم مائل، درجاته من الرخام الأبيض، على طول السد حتى حافة الماء. وأقيمت عند القمة قصور من الرخام وشرفات بأقبية مفتوحة ذات جمال أخاذ. وهناك ستة تماثيل من الرخام لفيلة بنصف الحجم الطبيعي بأعلى سد "جاي سامند" خراطيمها مرفوعة كما لو كانت تحيي الشمس عند بزوغها كل يوم في ترحيب حار.

والبحيرة الصناعية الكبيرة تحيل الأرض اليباب إلى حقول أرز خصبة ومراع نضيرة. والأخدود المقام عليه السد يحيط به سوار من التلال العالية. وليس أبدع من منظر البحيرة نفسها بأديمها الصافي في ليالي القمر وهي تعكس صور القصور والشرفات المطلة عليها من حافة سد جاي سنغ.

ويقع السد الثاني راج سامند على بعد خمسة وعشرين ميلا، وبحيرته ليست في ضخامة بحيرة جاي سامند، ولكن مشاكله الهندسية أشد تعقيدا، وقد بنى هذا السد ملك لاحق هو رانا راج سنغ وكلفه خمسة ملايين دولار – في وقت كان يتوافر فيه عمال السخرة. والسد يتخذ شكل نصف دائرة غير منتظمة بطول ثلاثة أميال – وكله من الرخام الأبيض، أطنان منه على أطنان – مرتكز على متاريس سميكة من التربة. وتتدرج إلى الماء ثلاث شرفات ويزين الدرج السفلي أربعة أقبية عليها نقوش هندية بديعة. وتطل الشرفات الرخامية على الماء كدعائم

لمقصورات ذات اثنى عشرة قاعدة، وهنالك كان يتربع ملوك راجبوتان على عروشهم مطلين على البحيرة المتلألئة.

وهذان السدان على جمالهما لم يشيدا لمجرد الفن والجمال. ففي عام ١٦٦١ اجتاح الوباء والمجاعة مملكة رانا راج سنغ. وقد جاء في تاريخ هذه الحقبة: "بدلا من سقوط المطر هبت ريح صرصر عاتية من الغرب حملت معها الوباء فجفت جداول الماء وهلك الحرث والنسل. وخربت المدن بنزوح ساكنيها إلى حيث أكلوا قشور الشجر والتهموا كل طعام خبيث لم يكن يؤكل من قبل. ثم انتهى أمل الجميع، إذ أكل الإنسان أخاه الإنسان".

وقد حرر السدان راجبوتانا إلى الأبد من خوف الموت جوعا أو عطشا. واستغرق بناؤهما جهدا شاقا طوال أعوام، دون الاستعانة بالديناميت أو آلات الحفر والهراسات، الأمر الذي يثير المزيد من العجب والدهشة. فكتل الرخام الضخمة قد رفعت ووضعت في أماكنها من البناء بالمجهود العضلي البشري الخالص – بأيدي عمال السخرة التي كانت تدفع الرخام فوق أشجار البوص مسافة أميال عديدة وهذان السدان الرخاميان العجيبان ينتميان إلى أبسط مراحل بناء السدود. فهما لا يعدوان أن يكونا حاجزين كبيرين لخزن الماء. وقبل أن يشيدا بمدة طويلة، كان الإنسان قد اهتدى إلى استخدام السدود في أغراض أكثر تشعبا وتعقيدا.

تسخير المياه

إن الماء المندفع له قوة كبيرة ويستطيع نهر صغير نسبيل أن يشق لنفسه قناة ضخمة عبر الصخور الصلدة. فالأخدود الذي يبلغ عمقه ميلا كاملا، والمعروف بجراند كانيون على ضفتي الكولورادو هو من صنع الماء. وكل من جرب السباحة ضد التيار في نهر مندفع، يدرك مدى قوة الماء وقد اهتدى الإنسان من قديم الزمن إلى استخدام قوة الماء لأغراضه. واكتشف أن قوة مجرى نهر يمكن أن تستخدم في إدارة طاحون يطحن الغلال إلى دقيق وهذا الاكتشاف لم يكن ليتم إلا حيث تشح الأيدي العاملة. أما إذا كان ثمة مورد رخيص لا نهاية له من عمال السخرة الذين يديرون الطواحين بسواعدهم، فماذا يغري الناس بالاهتمام بابتكار طاحون يدور بدفع الماء؟ والحاجة هي أم الاختراع حقا، وفي قديم الزمن كان يندر أن يتم اكتشاف ضخم نتيجة مجرد فضول التسلية في وقت الفراغ. لذلك، فمن المرجح ألا يكون أول طاحون يديره دفع الماء من صنع مصر أو بلاد ما بين النهرين (العراق)، حيث كان عمال السخرة موفورين، فانعدم الحافز على ابتكار بديل عنهم. وفوق ذلك، فإن النيل ودجلة والفرات ليست من أصلح الأنهار المهيأة بالطبيعة لإدارة الطواحين. فاندفاع الماء فيها ليس منتظما، إذ تفيض في عنف فترة ثم تتباطأ على مدار السنة، ثم إنها أضخم من أن تناسب الغرض

المنشود. وأصلح الأنهار جدول ماء جبلي سريع التيار. والمرجح أن تكون أول عجلة مائية قد ابتكرت على تلال إيران أو غيرها من البقاع الجبلية التربة في الشرق الأدنى، حيث يتوق الفلاحون المجهدون إلى أن يتخففوا من عبء هرس القمح بالمدق.

ومن وسائل التخلص من المجهود الجسماني استخدام الدواب. وفي كثير من بقاع الدنيا القديمة – وفي بعض المناطق البدائية إلى اليوم – تستخدم الحمير في إدارة الطواحين، إذ يربط الحمار إلى ذراع الرحى ويدور حولها. وكان ابتكار الطاحون الدائري، منذ ٢٥٠٠ سنة، يعتبر تقدما كبيرا على طريقة هرس الحبوب والتخلص من أغلفتها بدقها.

لكن حتى هذه لم تكن طريقة مرضية تماما. فالحمير لها متاعبها، إذ أنها تأكل وتمرض وتهرم، ثم يأتي اليوم الذي لابد فيه من أن يحل محلها غيرها. وقد ينتشر الوباء وتهلك الدواب وتحرم الجماعة من الخبز وهي أشد ما تكون حاجة إليه. وقد حاول المفكرون التقدميون في العالم القديم الاهتداء إلى طريقة يتحرر بها الإنسان من الاعتماد على عضلات ساعديه أو على الدواب.

ومبتكر طاحون الماء مهندس روماني معروف باسم فتروفيوس، واسمه الكامل ماركوس فتروفيوس بوللو، عاش في القرن الأول قبل المسيح.وقد كانت هناك طواحين تدار بقوة الماء قبل فتروفيوس، وهي الطواحين الإغريقية التي ربما لم تخترع في بلاد اليونان أصلا بل في

منطقة ما بالشرق الأدنى. والطاحون الإغريقي الذي لا يزال يستخدم في أشد بقاع العالم تأخرا، لا يعتبر طرازا جيدا من الطواحين، لكنه يؤدي مهمة طحن الغلال في نهاية المطاف. وأكبر ميزة فيه، أنه بسيط التكوين ولا يحتاج إلى قوة عضلية من الإنسان أو الحيوان، فجدول الماء يؤدي العملية كلها. والطاحونة الإغريقية تتكون من عجلة مائية أفقية مركبة على قاع النهر مباشرة، فيندفع الماء داخل قواديس مثبتة على جانب محيط العجلة فيجعلها تدور. وهناك عمود رأسي على العجلة يؤدي إلى حجرة الطاحون، وأحدهما مركب فوق الآخر. ويمر العمود خلال الحجر السفلي ويثبت بالحجر العلوي. وعندما تدور العجلة، يدور كذلك العمود المثبت بالرحا، فيطحن الحب بين الحجرين.

وهذا الطاحون يدور في بطء وعندما يبطئ انسياب الماء في النهر، يطحن الحب في بطء أيضا، لأن حجري الطاحون لا يمكن أن يدورا أسرع من عجلة الماء التي تحركهما، لكن إذا كان ماء النهر يندفع بسرعة طوال العام، أمكن طحن الغلال بكميات تزيد كثيرا عما يمكن طحنه منها بالمدق والمهرسة، أو يربط الدواب إلى الرحا الطواحين وجعلها تدور وتدور ثم تدور.

ولعل فيتروفيوس كان قد عرف الطاحونة الإغريقية، لكن طاحونته كانت تتفوق عليها من الناحية الهندسية تفوقا عظيما. فقد استخدم عجلة رأسية – لا أفقية – مركبة على جدول ماء سريع الاندفاع. وكانت من

المجموعة ذات الدفع السفلي، أي أن الماء يأتي مندفعا إلى العجلة حيث يدفع قواديسها السفلية إلى أعلى فتدور العجلة. وكانت العجلة مشدودة إلى حجر الطحن بنظام بارع من الأسنان أو التروس الخشبية عن طريق عمود أفقي. وكانت النتيجة أفضل من النواعير الإغريقية بجلبتها وضوضائها. وكانت القواديس السفلى مغموسة في الماء دائما، فكانت العجلة تدور دورانا لا نهاية له، موالدة بذلك قوة حطن تفوق كثيرا ما تولده العجلة الأفقية المغمورة كلها في الماء. وأسهل شئ نتصور به طاحون فتروفيوس هو الساقية في ريف مصر، لكن مع ملاحظة أن الساقية المصرية تديرها الدابة لتجرف بقواديسها الماء من المسقى إلى مستوى الحقل في حين أن العجلة الرومانية يدفع الماء قواديسها السفلى فتمتلئ به وتدور إلى أعلى، وكانت هذه القوة التي تدور بها تسخر في حطن الغلال.

ولم يتقبل الناس هذه الطاحونة الرومانية فلم يكن أيسر من الاعتماد على تسخير العبيد أو الدواب. والناس يميلون عادة إلى التشبث بالقديم، إلى أن يضطرهم ضغط الظروف إلى التخلي عن الأساليب العتيقة. لكن خلال العصور المسيحية المبكرة أخذت الطواحين الرومانية تلقي إقبالا متزايدا باضمحلال نظام السخرة. وما انتهى القرن الخامس حتى كانت الطواحين الرومانية منتشرة بوجه عام في أغلب أنحاء أوربا والشرق الأدنى.

ولابد لنا أن نتبين أن حركات التقدم الثقافي لا تنتشر بصورة ثابتة

موحدة في شتى بقاع الأرض في نفس الوقت. فحتى يومنا هذا رغم ارتباط العالم بشبكة من وسائل الاتصال، فإن هناك بقاعا لم تصل إليها بعد السيارات وأجهزة التلفزيون. ثم إنه من ألفي سنة كانت المبتكرات الفنية لا تنتشر في العالم القديم المنعزل عن بعضه البعض إلا في بطء شديد، وهكذا بينما راح الرومان يستخدمون الطواحين المائية من طراز طاحونة فتروفيوس عام ٣٠٠ بعد الميلاد، كان سكان الجزر البريطانية مازالوا يكدحون في تشغيل الطواحين الإغريقية، شأنهم شأن الصينيين، بينما كانت الطواحين التي تديرها الدواب لا تزال مستخدمة في أفريقيا ومعظم آسيا. أما في الدنيا الجديدة التي لم تكن قد اكتشفت بعد، فقد كان الهنود الحمر، مازالوا يطحنون القمح بدقه بأيديهم، ولعلهم سيستمرون على ذلك قرونا عديدة.

وفي فترة ما، فيما بين القرنين الخامس والعاشر للميلاد، اتخذت خطوة كبيرة أخرى إلى الأمام في فن تسخير الماء لخدمة الإنسان، عندما ابتكرت العجلة المائية الرأسية التي يدفعها الماء من أعلى إلى أسفل. ولعل هذا الاختراع قد انتقل من بلد أوربي به أنهار وجداول سريعة الاندفاع مثل إنجلترا وفرنسا والبلاد الواطئة. فقد أخذت أعلام الحضارة تخفق غربا بعد اضمحلال الحضارات التي ازدهرت في مصر وبلاد ما بين النهرين ثم في بلاد الإغريق وروما، واستقر المطاف أخيرا في غرب أوربا.

وطاحون العجلة التي يدفعها الماء فتدور من أعلى إلى أسفل،

تختلف عن الطواحين الإغريقية والرومانية (طرازفيتروفيوس)، من حيث أنه يتطلب إقامة سد يوفر له فيضا من الماء. فالطاحون الأغريقي يدور ببساطة في جدول ماء مفتوح، وطاحون فيتروفيوس يمكن أن يدور بنفس الوضع، كما يمكن أن يدور في مجرى ماء يتفرع من نهر. وربما كانت بعض الطواحين ذات العجلات التي يدفعها الماء من أسفل إلى أعلى قد استخدمت لها السدود، لكن طواحين العجلات التي تدور من أعلى إلى أسفل، هي التي اقتضت بالضرورة إقامة السدود.

وطواحين الدفع المائي العلوي هذه طراز آخر من العجلات المائية الرأسية، مركب عليها قواديس لتلقي الماء المندفع، لكنها تقام خلف سد صغير يحجز أمامه بركة ماء، وبحيث تتلقى الماء من فوقه. وتكون قمة العجلة المائية العلوية الدفع، على نفس مستوى ارتفاع الماء في البركة أو دونه قليلا.

والقناة أو مجرى الطاحون التي تخرج من البركة تؤدي إلى بربخ خشبي يحمل الماء إلى قمة العجلة المائية. ويحجز فيض ماء البركة بوابة تعرف ببوابة قناة الطاحون. وعندما ترفع البوابة يندفع ماء البركة إلى مجرى الطاحون، ثم إلى البربخ، ثم إلى أعلى قمة العجلة فيتحرك بدفع الماء دائرا إلى أسفل. وهكذا، فإن حركة عجلة الطاحون العلوية الدفع تكون بعكس حركة العجلة السفلية الدفع. فبينما تدور العجلة السفلية بتأثير قوة الماء المندفع على امتداد قاع الجدول، فإن العجلة العلوية

تستمد قوتها من ثقل الماء المتساقط على دلائها من أعلى. والدفع الإضافي الناجم عن الجاذبية الأرضية يضفي على العجلة العلوية الدفع، قوة تفوق قوة منافستها القديمة.

وهكذا، ظهر في حيز الوجود المجال العظيم الثالث الذي تستخدم فيه السدود، فقد استخدمت السدود الأولى في تكوين خزانات لري الأرض. ثم أقيمت السدود بغرض التحكم في الفيضانات، ثم بدأت السدود أخيرا تستخدم في توليد الطاقة الكهربائية.

وسدود الطواحين كانت أصغر كثيرا من السدود الضخمة التي أقامها القدماء في أعمال الري والتحكم في مياه الفيضان، وكانت تقام عبر الجداول الصغيرة لا الأنهار الكبيرة، ولم يكن ثمة حاجة إلى أحجام كبيرة. وكانت سدود الطواحين تبنى عادة من التراب أو الأحجار أو جذوع الشجر أو منها جميعا، وتكدس عبر قاع الجدول حتى تبدأ المياه في التجمع. وإذا نظرنا في هذه السدود على حدة، تبينا أنها لم تكن تنطوي على فن هندسي خارق، لكن أهميتها لا تتضح بصورة كاملة، إلا إذا نظر إليها المرء على أنها جزء من الجهاز المبتكر المعقد الذي تقوم عليه فكرة العجلة المائية العلوية الدفع.

وانتشرت طواحين الماء في كافة أنحاء أوربا، وسرعان ما بات لكل جدول ماء قرب مزرعة، طاحون مائي يدور بلا انقطاع. وفي بعض البلاد، وهولندة على وجه خاص، فضل الناس الطواحين الهوائية، لكن فكرة

تسخير طاقات الطبيعة في طحن القمح كانت واحدة.

وجاءت الطواحين المائية إلى الدنيا الجديدة بقدوم المستوطنين من أوربا. ولم يشيد الهنود سدودا، رغم القدوة التي ضربها من حولهم حيوان القندس بأعداد لا نهاية لها، اللهم إلا في المناطق الجدباء في جنوب غرب الولايات المتحدة، إبان ثقافات قبائل الأزتيك والإنكا والمايا بأمريكا الوسطى والجنوبية – لكن تلك السدود اقتصرت فائدتها على أعمال الري. وظلت الغلال تدق باليد في سائر أنحاء الدنيا الجديدة.

ولم يضيع المستوطنون وقتا في إقامة الطواحين. وكان أول طاحون يبنى في نيوإنجلند عام ١٦٢٣ طاحونا هوائيا، لكن سرعان ما أعقبته الطواحين المائية، ومعها السدود. وقد بنى أول طاحون مائي لطحن الحبوب في مدينة ملتون بماساشوستس عام ١٦٣٤. وسرعان ما انبثق حوله مركز صناعي. وقوة الماء يمكن استخدامها، لا في حطن الحبوب فحسب، بل في نشر الخشب أيضا. وسرعان ما قامت طواحين نشر الأخشاب إلى جانب طواحين الدقيق في مستعمرات نيوإنجلند النامية. وكان لكل قرية سدها الضئيل على جدولها الصغير. ولم يعد من الضروري أن يكون الجدول سريع الاندفاع، على نحو ما كانت تقتضيه الطواحين السفلية الدفع. وكان السد يستخدم لخزن المياه التي تطلق من بوابة البربخ بطاقة تكفي لإدارة العجلة المائية.

وقد اختفت الطواحين المائية الآن، وإن كان القليل منها لا زال

باقيا كأنه متحف يعرض أسلوبا قديما في الحياة. كذلك، فإن سدود الطواحين أصبحت أثرا من آثار الماضي. وطحن الغلال يتم اليوم دون حاجة إلى طاقة مائية مباشرة.ومع ذلك، فإن عصر السدود الصغيرة أيام الطواحين، كان عصرا هاما في تاريخ الإنسان في مجال العلوم الهندسية. فهو بمثابة نقطة التحول الحيوي في مصدر الطاقة من عضلات الإنسان إلى قوة الآلة. كان الإنسان يتعلم قرنا بعد قرن كيف يجعل الطبيعة تعمل من أجله. وتطورت الأساليب وتتابعت التغييرات بسرعة لا تصدق. وكانت أوجه التقدم التكنولوجي في الفترة ما بين عامي ١٠٠٠ و١٨٠٠ ميلادية، أعظم من كل تقدم تم في تاريخ البشرية على يد الإنسان فيما قبل ذلك خمس آلاف إلى عشرة آلاف سنة. لكن الثورة لم تكن إلا في بدايتها، وكان عصر الكهرباء يبزغ فجره – ودخل التطور التكنولوجي عصره الذي يقفز فيه قفزا نحو التقدم، تقدم – ما زال مستمرا بسرعة تتزايد دائما أبدا.

الكهرباء من قوة الماء

الكهرباء سر من أعظم أسرار الطبيعة. وقد عرفها الإنسان، في هيئة برق، قبل أن يستخدمها بمدة طويلة كمورد لطاقة تدبر عجلة الصناعة في أنحاء العالم. بل لقد سخرها لمصلحته قبل أن يدرك حقيقة كنهها وطبيعتها بمدة قرن من الزمان. وتركز البحث خلال القرنين الثامن عشر والتاسع عشر في سير أغوار هذه الظاهرة الطبيعية. ورغم أن الحقبة التي

مرت على بدء الباحث الأنجليزي تجاربه على الكهرباء بمعناها العصري، حتى توصل في القرن التاسع عشر إلى إضاءة أول نور كهربائي، لا تمثل إلا لحظة عابرة في تاريخ البشرية، فإن الطريق كان شاقا عسيرا لا يتسع المجال هنا لوصف تطوراته العجيبة.

وتجارب علماء من أمثال جالفاني، وفولتا، وأمبير، وفرداي، ممن خلدت أسماؤهم بإطلاقها على وحدات قياسية أو مصطلحات كهربائية، قد أدت إلى إدراك كنه الكهرباء بدرجة، وإن كانت ناقصة غامضة، إلا أنها كانت كافية لإطلاق هذه القوة الجديدة من عقالها. وكان المغناطيس الكهربائي الذي توصل إليه فرداي بمثابة مفتاح السبيل لتسخير الكهرباء لخدمة الإنسان.

وقبل فرداي، كان بعض الباحثين قد ولدوا الكهرباء بطرق مختلفة غير كافية للإفادة بها. فقد ولدها "وليم جلبرت" عن طريق الاحتكاك، فأنتج شرارات وآثار غير عادية بحك قطعة من الكهرمان بقطعة من الفراء. واستنبط "بيتر فان موشنبروك" من ليدن بهولندة عام ١٧٤٦ طريقة لخزن طاقة يولدها الاحتكاك في زجاجة عرفت بقارورة ليدن. وبعد ذلك بسنوات قليلة أجرى "بنيامين فرانكلين" تجربته الشهيرة – الخطيرة – باطلاق بالون للحصول على كهرباء من السحب. واهتدى "ألسندرو فولتا" بعد ذلك في القرن الثامن عشر، إلى أن أتصال معدنين مختلفين في وجود حامض يولد الكهرباء، واخترع عمود فولتا، وهو مجموعة من

شرائح النحاس والزنك تتخللها قطع من ورق النشاف المبلل بالخل، واستطاع أن ينتج تيارا كهربائيا مستمرا من هذا العمود. وأجرى سلسلة من التجارب أنتجت نفس الأثر.

وفي بداية القرن التاسع درس أندريه آمبير قوانين التيار الكهربائي، وأجرى تجارب على أسلاك يمر بها تيار كهربائي. واكتشف أنه إذا مرر خلال سلكين متجاورين تيارا في نفس الاتجاه اقتربا من بعضهما، إنما دون أن يتماسا. وعندما مرر في السلكين تيارا في اتجاهين مختلفين تنافر السلكان.

وبعد ذلك جرب أمبير لف سلك حول قضيب من الحديد ومرر فيه تيارا كهربائيا. وكم كانت دهشته، إذ أصبح القضيب مغناطيسيا ! إن مجرد وجود تيار كهربائي في سلك حول قضيب من الحديد يحدث تغييرا سحريا في خواصه. وعندما كان يقف التيار كان قضيب الحديد يفقد مغناطيسيته إلى أن يمرر التيار في السلك من جديد.

ولم يتابع آمبير اكتشافه، بل بقي حتى تولاه شاب إنجليزي لامع الذكاء اسمه مايكل فرداي وخطا به الخطوة المنطقية التالية. كان آمبير قد صنع مغناطيسا بإمرار تيار كهربائي خلال سلك. وتساءل فرداي هل يمكن صنع العكس. هل يمكن جعل المغناطيس ينتج تيارا كهربائيا؟

وفي عام ١٨٣١ بدأ تجاربه على المغناطيسات. وفي شهر أكتوبر كان يجري تجربة استخدم فيها قضيبا أسطوانيا بسمك ٣\٤ بوصة وطول ٨,٥ بوصة، ولف ٢٢٠ قدما من سلك نحاس، على شكل ملف

حلزوني وأوصله بالمغناطيس وعرته الدهشة والابتهاج، إذ اكتشف أنه عندما يحرك المغناطيس داخل ملف السلك يسري تيار كهربائي خلال السلك. وعندما يتوقف المغناطيس عن الحركة يتوقف التيار.

وكانت نظرية فرداي في تفسير هذه الظاهرة غير صحيحة، لكن هذا لم يكن أمرا ذا بال. فقد بادر على الفور إلى التطبيق العملي لاكتشافه بصنع آلة تنتج تيارا كهربائيا ثابتا، وأدار على التوالي قرصا نحاسيا بين قطبي مغناطيس على هيئة حدوة الحصان، فحصل على تيار مستمر بموصلين يحتكان بالقرص، وكان هذا أول مولد كهربائي. كان إنتاجه ضئيلا وكانت كفاءته منخفضة، لكنه جاء بتيار كهربائي على أي حال! وكان أول دينامو يعرفه العالم.

وبينما كان فرداي يجري تجاربه كان "جوزيف هنري" يجري نفس التجارب مستقلا، وتوصل إلى نفس النتيجة. لكن لما كان فرداي قد نشر نتائجه أولا، فقد أرجع الفضل له، دون جوزيف هنري، في هذه الخطوة الرائدة في توليد الكهرباء. وقد انتقل فرداي إلى مجالات أخرى في أبحاثه، لكن المولد الكهربائي أصبح موضع أبحاث مضنية مثمرة في معامل مختلف العلماء الباحثين. وإذا كانت القاعدة الأساسية في توليد تيار كهربائي بملف ومغناطيس قد بقيت دون تغيير، إلا أن التحسينات أدخلت عليها بسرعة واطراد. وما حل عام ١٨٧٨ حتى كان المولد الكهربائي ذو القطبين الذي ابتكره "توماس إديسون" يضاعف تقريبا

كفاءة أحسن التصميمات السابقة جميعا، ويجعل استخدام الكهرباء على نطاق تجاري أمرا عمليا. وقد استغرقت الثورة الكهربائية كلها قرابة جيل من فرداي إلى إديسون – فترة قصيرة نسبيا لمثل هذا الفيض العجيب من الأحداث المذهلة.

ثم جاء التلغراف والتليفون والنور الكهربائي كأنها قنابل تنفجر في عالم مذهول. وراحت الدينموات تولد الكهرباء وتدبر عجلات المصانع، وبذا حلت محل الغلايات البخارية والطواحين المائية. وعدم انتظام سريان التيار جعل من استخدام الكهرباء للأغراض الصناعة أمرا محفوفا بالمخاطر إلى وقت متأخر حتى عام ١٩٠٠، لكن سرعان ما حلت هذه المشكلة بالتحسينات التي أدخلت على تصميم المولد.والظاهرة الأساسية في توليد التيار تعتمد على الملفات التي تدور. وتستخدم التوربينات لاستمرار دوران الملفات وسريان التيار.

والتوربين محرك دوار، يدير محوره تيار من البخار أو الهواه أو الماء أو أي سائل آخر، ويعمل بنفس فكرة الطاحون الهوائي أو المائي، إذ ينبثق تيار من الماء أو البخار من بربخ أو خرطوم ثابت ويصطدم بمراوح أو حدافات أو قواديس أو ريش مثبتة على التوربين فيدفعها إلى الدوران، وسرعان ما قدم العهد بالتوربينات البخارية المبتكرة بعد عام ١٨٨٠ لتفسح المجال للتوربينات المائية الضخمة التي صممت لتدير الديناموات. وهكذا بدأ عصر القوة المائية الكهربائية، أو عصر السدود الكبرى.

وكما رأى فيتروفيوس أن قوة المياه يمكن استخدامها لطحن القمح، تبين المهندسون أيضا في أواخر القرن التاسع عشر أن قوة اندفاع الأنهار يمكن استخدامها لإدارة توربينات تولد الكهرباء. والأنهار بالطبع لا تكون في كثير من الأحوال قريبة من مراكز الصناعة بصورة مناسبة، لكن تطور فكرة خطوط المسافات الطويلة ذات الضغط العالي، حل هذه المشكلة وأصبح في الإمكان توليد الكهرباء في جهات نائية وتوصيلها إلى المدن الصناعية، حيث اشتدت الحاجة إليها.

وهكذا نرى أنه كان لابد من سلسلة متشابكة من المخترعات والأفكار والتطورات لقدوم عصر السدود العالية. والتقدم التكنولوجي يتحرك على الدوام في جبهات واسعة بهذه الطريقة، وقد يؤدي اكتشاف واحد منعزل، مثل تجارب "فرداي" على المغناطيس الكهربائي، إلى طفرات وقفزات من الأفكار والتطورات الجديدة التي لابد أن تتشابك وتتسق في كل نقطة حتى تكون مفيدة عمليا.

وهكذا، فإن إديسون، عام ١٨٧٩، لم يكن ليهتدي إلى تطوير مصباحه الكهربائي المتوهج، لو لم يكن قد ابتدع في العام السابق مولدا يمده بتيار مضمون يعتمد عليه. وبالمثل، فإن الأفكار المتشابكة الضخمة قد انبثقت كلها في صورة كيان متناسق يعتمد بعضه على بعض. من المولدات الكهربائية والتوربينات إلى المصانع وخطوط الضغط العالي عبر المسافات الطويلة، ثم أخيرا إلى السدود الضخمة الجبارة في أقصى بقاع الأرض.

عصر السدود العالمية

بناء السدود الضخمة على صورة واسعة لا يعتبر عملية مناسبة تماما لمجال الأعمال الحرة، نظرا لما تقتضيه من نفقاف باهظة. فاليوم قد يتكلف بناء سد صغير بضعة ملايين من الدولارات. أما السد الضخم فقد ترتفع نفقاته إلى مبالغ خيالية تبهظ ميزانية أكبر المؤسسات. لذلك أصبحت عملية بناء السدود في زماننا وجها من أوجه نشاط الحكومة في أغلب الأحوال. وقد أدى هذا إلى خلاف كبير في الرأي، كما سنرى، بين دوائر الأعمال الحرة والجهات الرسمية. والموضوع دقيق لا يمكن أن يحسم بسهولة. وهناك من يرى أنه كان ينبغي أن يقام عددا أكبر من السدود بمعرفة مقاولي القطاع الخاص، كما أن غيرهم يرى أن جميع المشروعات الكبرى المتعلقة بمصادر القوى ينبغي أن تضطلع بها الحكومة.

ودخلت حكومة الولايات المتحدة مجال بناء السدود على نطاق واسع في ١٧ يونية سنة ١٩٠٢، عندما صدق الرئيس "تيودور روزفلت" على قانون الإصلاح الزراعي الفدرالي، وكان يتعلق كما يوحي اسمه بإقامة السدود لأغراض الرأي واستصلاح الأراضي. ونص على إقامة مكتب الإصلاح الزراعي كفرع من وزارة الداخلية، وخوله المسئولية والاعتمادات اللازمة لإقامة سدود على نطاق واسع بغية إصلاح الأراضي وخصوصا في الجزء الغربي من الولايات المتحدة وكانت هناك وكالة

أخرى تابعة للحكومة الاتحادية، هي سلاح المهندسين في جيش الولايات المتحدة. وكان الكونجرس الأمريكي أيام حركة الاستقلال أول من كلف المهندسين بهذه المهمة عام ١٧٧٥. على أنهم أعفوا منها بعد ذلك بثماني سنوات. ولكن في عام ١٨٠٢ شكل الكونجرس سلاحا جديدا من المهندسين، وكان من أول مسئوليات مهندسي الجيش إدارة الأكاديمية العسكرية الأمريكية في "وست بوينت"، واضطلعوا بهذه المهمة حتى عام ١٨٦٦ وحتى يومنا هذا ما زال المتفوقون من طلبة الكلية الحربية بوست بوينت يحملون لقب "مهندس" من باب الاستعارة الفكهة. وفي أوائل عشرينيات القرن التاسع عشر، عهد إلى مهندسي الجيش بمهمة صيانة الطرق المائية داخل البلاد. فاضطلعوا بمشروعات لتحسين الملاحة في نهري الميسيسيبي وأوهايو، وشق قناة تشيزابك وأوهايو، ودرء الأخطار التي تواجهها السفن في نهر ميسورى. وفي عام ١٨٥٢ أسند إليهم الكونجرس مهمة صيانة الأنهار والمواني على وجه عام. وفي سنة ١٩١٧ أصبح التحكم في الفيضانات جزءا من العمليات الرسمية المكلف بها مهندسو الجيش. ونص قانون ضبط الفيضان الصادر عام ١٩٣٦ على أن لهم أن يقيموا ما تقضي به الضرورة من سدود بغرض السيطرة على الفيضانات.

وقد أدى هذا الوضع إلى شئ من الأخذ والرد، في ود وفي غير ود، كما نجم عنه قدر غير قليل من الخلط والاضطراب في

المسئوليات. وقد زاد الطين بلة تغير وجهات نظر الكونجرس، والصراع بين أنصار المؤسسات العامة والمؤسسات الخاصة في الاضطلاع بمرافق القوى وغير ذلك من العوامل، حتى باتت قصة بناء السدود في الولايات المتحدة قصة مضطربة مشوهة.

سد روزفلت

من أوائل السدود التي شيدت بموجب قانون الإصلاح الزراعي عام ١٩٠٢، سد روزفلت على نهر سولت في أريزونا. وكان عملا هندسيا رفيعا في زمانه، لكنه يبدو الآن على شئ غير قليل من الغرابة ولعل كلمة "غرابة" كلمة عجيبة لا تنطبق على بناء حجري يرتفع ٢٨٠ قدما، إلا أن سد روزفلت (وقد سمي باسم تيودور روزفلت لا فرانكلين روزفلت الذي كان في مرحلة دخول الجامعة عند بنائه)، ذو منظر غليظ معقد يرجع بالمرء إلى العصر الفكتوري، ولا يمت إلى عصر السدود الرشيقة المنتظمة التي جاءت من بعده على أنهار أمريكا.

وقد بدأ العمل في سد روزفلت عام ١٩٠٥ وتم بناؤه في أوائل عام ١٩١١. وهو من الطراز المعروف بسدود المباني الصلبة المصمتة التي تعتمد على الثقل الذاتي، أي أنه مكون من كتل صلبة من الخرسانة التي تصد سيل الماء بحكم ثقل وزنها. وهذا الطراز من أقدم أنواع السدود، وإن كانت كتل البناء التي استخدمها الفراعنة في زمانهم هي الأحجار لا الخرسانة وكانت سدود البنيان الصلب (المصمت) في غابر

الزمن ضخمة بشكل غير مألوف، حتى لا تنهار أمام ضغط مياه الأنهار المتلاطمة عليها. على أنه في القرن التاسع عشر يسرت الأعمال الهندسية التي اضطلع بها "و. ج. م. رانكين" وغيره أساسا علميا لبناء السدود. وقبل ذلك كان من الضروري أن تقام سدود من المباني، بحيث يكون عرضها ثلاثة أو أربعة أمثال ارتفاعها. وقد أتاحت التطورات العلمية الجديدة بناء سدود قوية الاحتمال يمكن أن يزيد ارتفاعها على سمكها – وهذه خطوة حيوية هامة في مجال الكفاءة، نجم عنها وفر كبير في أعمال الإنشاء.

وكان نهر سولت ينساب عبر الصحراء في إقليم أريزونا قبل بناء سد روزفلت، وكانت المحاولات الأولى التي بذلت لبناء السدود قد باءت بالفشل إذ أن ذوبان الثلوج في أوائل الربيع كانت ينجم عنه فيضانات تحتاج تلك السدود أما سد روزفلت، فقد أقيم في أخدود ضيق، وكان يستند في كلتا الضفتين على دعامات صخرية طبيعية، فأدى مهمته بنجاح، وكون خزانا كبيرا ظل يستخدم من ذلك الحين في ري الأرض.

وسد روزفلت، كما أسلفنا، ليس سدا رشيقا ممشوقا، وبناؤه ضخم خشن تعلوه بروج وأسوار تجعله قريب الشبه بالحصون والقلاع. لكن، رغم مظهر القرون الوسطى الذي اتسم به هذا السد، فقد أدى الغرض منه وساعد على استصلاح جانب كبير من الصحراء ولم يكن بناء السد عملا سهلا. ففي عام ١٩٠٥ لم تكن سيارات النقل قد عرفت بعد،

وكان لابد من أن تجر الخيل والبغال مواد البناء اللازمة للسد قرابة ١١٢ ميلا عبر طريق أنشئ خصيصا. وكان معظم العمال الذين عبدوا هذا الطريق، ثم انتقلوا إلى العمل في بناء السد بعدئذ، من هنود الآباش الذين اتخذوا القتال أسلوبا لحياتهم قبل ذلك ببضع عشرات من السنين.

ولتوفير القوة الكهربائية اللازمة لإدارة آلة الحفر وصب الخرسانة أقام المقاول محطة كهرباء مائية صغيرة على مسافة عشرين ميلا من موقع السد، كما أقام مصنع أسمنت قريب اختصارا للوقت الذي تستغرقه عملية النقل. وأقام مصنعا لنشر الخشب بين الجبال على بعد ثلاثين ميلا لإعداد كتل الأخشاب اللازمة للبناء. وكان المقدر أن يستغرق بناء السد ثلاث سنوات، لكن هذه الفترة امتدت إلى خمس سنوات، إذ نشأت مشاكل عديدة من كل نوع متعلقة بالعملية. فلكي يتسنى بناء سد، لابد من (تحويل) مجرى النهر بطريقة ما، ويتم هذا عادة بإقامة سد ترابى، أي سد، أمامي مؤقت في موقع سد روزفلت، اكتسحه بعيدا فيضان مفاجئ بعد أن قارب هذا السد الأمامي على الإنتهاء. وبوجوه متجهمة بدأ العمال العملية الرهيبة من جديد. وصمد السد هذه المرة لاندفاع فيضان شديد آخر كذلك واجه بناء نفق محطة الكهرباء الهيدروليكية الذي يبلغ طوله ٥٠٠ قدم متاعب جمة. فقد كان ارتفاع مستوى النهر قدمين اثنين كافيا لإغراق النفق. وحدث هذا ثلاث مرات. كما أن العمال لقوا متاعب جمة في جو حار خانق، وتفجرت العيون

الساخنة منسابة تحت أرض النفق، وامتلأ السرداب ببخار يكتم الأنفاس، وبلغت درجة الحرارة قرابة ١٣٠ فهرنهايت، وتصيب العمال عرقا، فخلعوا ملابسهم واضطروا إلى الخروج للراحة واستنشاق الهواء الطلق مرة بعد أخرى. ورغم كل هذا شيد السد. وعندما تم بناؤه، كون أمامه بحيرة سعتها نصف بليون جالون من الماء. وتروي هذه البحيرة الآن ربع مليون فدان كانت من قبل صحراء يبابا، وتمر مياهها عبر قنوات ينوف طولها على ألف ميل. وبلغ ارتفاع السد ٢٨٠ قدما، وسمكه ١٥٨ قدما، وطوله ١١٢٥ قدما. ولو كان السد قد بني دون الاستفادة بما شهده القرن التاسع عشر من تقدم في التصميمات الهندسية وقياس الضغط، لكان لابد من أن يكون سمكه ما بين ٧٠٠ و١٠٠٠ قدم عند القاعدة، الأمر الذي يتطلب من الجهد والعطل مالا يمكن أن يقارن ببناء جدار رشيق لا يتجاوز سمكه ١٥٨ قدما .

وكان لسد روزفلت ما يستحقه من التقدير كعمل هندسي كبير ناجح. لكن هذا العملاق فريد عصره، سرعان ما أصبح قزما. فقد أخذ مكتب الإصلاح الزراعي يقيم سدودا تفوقه ضخامة، وتجل عنه شأنا مثل سد هوفر (أو سد القلعة). وجراند كولي، وشاستا، وهنجرى هورس، بينما بنى مهندسو الجيش سد فورت بيك، وجارسون، ومئات غيرها. وبعد إتمام سد روزفلت بخمس سنوات، ظهر في الوجود مشروع ضخم آخر من مشروعات مكتب الإصلاح، وهو سد أرو روك (السهم الصخري)

على نهر يويز في أيداهو. وكان هذا من بين السدود الكثيرة التي أحرزت لقب (أعلى سد في العالم) فترة قصيرة من الزمن. وبلغ ارتفاع سد أرو روك ٣٥٠ قدما فزاد على سد روزفلت بسبعين قدما. أما اليوم، فإن عملاق زمانه هذا قد انخفض إلى أسفل القائمة، إذ أن كثيرا من السدود يبلغ ارتفاعها ضعف ارتفاعه، بل إن سد فايونت الشهير بإيطاليا – الذي تم بناؤه عام ١٩٦١ يزيد ارتفاعه عن أرو روك بأكثر من خمسمائة قدم، أي يحجم ناطحة سحاب من خمسين دورا – ويبلغ ارتفاعه ٨٧٠ قدما لكن سد (فايونت) ذاته لن يحتفظ بعرشه فترة طويلة، فإن سد جراند ديكسانس بسويسرا، الذي سيتم عام ١٩٦٦ سيرتفع عنه كثيرا، فيبلغ الرقم الخيالي: ٩٤٠ قدما.. ويزمع الاتحاد السوفيتي إقامة سد يبلغ ارتفاعه ٩٩٠ قدما على نهر أنجوري بقرب مدينة فولجاجراد، التي يعرفها الغرب باسمها القديم سنالينجراد، ولنا أن نتوقع ألا يطول انتظار السد الذي يبلغ ارتفاعه ألف قدم.

ومع ذلك، فقد كان سد أرو روك نجاحا هاما في عهد الرئيس ولسون. وهو سد خرساني مقوس رشيق المنظر، يحمل طابع القرن العشرين وخطوطه الحديثة ومثله في الذوق والجمال، بما يختلف عن الطابع الفكتوري لسد روزفلت. ويختزن الماء أمامه في فرعي نهر يويز شمالا وجنوبا مكونا خزانا على هيئة حرف (Y) طوله ١٧ ميلا.

وفي سد أرو روك ظاهرة مستحدثة تستحق الذكر. فنظرا لأنه بنى

في بقعة تشتغل بقطع أخشاب الشجر، فقد صمم بحيث يعالج أمر كتل الأخشاب التي تنقل عائمة. فعندما تصل الجذوع المقطوعة طافية مع تيار الماء في النهر إلى الخزان، يلتف حولها سلك غليظ ويرفعها من الماء ويضعها على رصيف الخزان، حيث ينقلها حزام نقل آلي صوب منحدر تمرق منه فيلفظها خلف السد، فتستأنف رحلتها إلى المصنع. والرافعة التي ترفع الكتل الخشبية تبلغ طاقتها مليون قدم من كتل الخشب يوميا ومن بين السدود الكبرى في هذه الفترة المبكرة من عصر السدود العالية، سد "إلفانت بط"، ويرتفع ٣٠١ قدما على نهر ريوجراندي في نيومكسيكو، الذي تم كذلك عام ١٩١٦، وهو وإن كان أقصر من سد أرو روك، فإنه يكون خزانا أكبر منه أربع مرات، ثم سد جورج الحجري بكاليفورنيا الذي تم عام ١٩٢٨، وهو من طراز "أمبرسن" ويستند إلى قناطر، وسد سيمينو في يومنج الذي صبت فيه خرسانة حجمها ٢٠٠,٠٠٠ ياردة مكعبة في فصل واحد من فصول السنة رغم ظروف الشتاء القارس وبالرغم من أنه كان ثمة سدود عديدة بنتها الحكومة فيما بين عامي ١٩٠٥ و ١٩٣٣، فإن الفترة المثيرة حقا في بناء السدود، قد بدأت عندما جاء فرانكلين ديلانو روزفلت (بالعهد الجديد) إلى البيت الأبيض. كان لدي روزفلت مفهوم جديد تماما عن دور الحكومة في الشئون القومية. وبينما كان سابقوه الجمهوريون الرؤساء هاردنج، وكولدج، وهوفر يتبعون أساليب حزبهم التقليدية الحذرة، فإن روزفلت وسع من اختصاصات الحكومة الاتحادية بصورة متطورة نشطة.

وقد اقتضت فلسفته في الحكم إنفاق أموال ضحمة على الأشغال العامة، أو السدود بوجه خاص وبعض مشروعات بناء السدود في العهد الجديد يرجع تاريخها إلى حكومات سابقة، لكنها لم تلق التأييد الكبير إلا من حكومة روزفلت. ومن بين هذه المشروعات سد هوفر الذي سنعرض له في الفصل القادم. ورغم أن الكونجرس وافق على إقامته عام ١٩٢٨، فإن الجزء الأكبر منه تم بناؤه خلال عهد روزفلت.

وكان أكبر مشروعات روزفلت للطاقة الكهربائية العامة، ويقينا أكثرها تعرضا للنقاش والجدل، هو مشروع هيئة وادي تنيسي الذي أفردنا له فصلا خاصا في هذا الكتاب. وخلال السنوات العشر الأولى من عمر هذه الهيئة، تم تشييد قرابة عشرين سدا شملت سلسلة من الإنشاءات على نطاق لا يكاد يكون له نظير، إذ بلغ مجموع كتلة أبنيتها ضعف أهرامات مصر إثنتى عشرة مرة. وقد بدأ تنفيذ مشروع وادي تنيسي عام ١٩٣٣، وسرعان ما أخذت المشروعات تترى بعد ذلك. ولم يحل عام ١٩٣٦، حتى كان هناك نحو عشرين سدا ضخما يجري إنشاؤها في الولايات المتحدة، وكان سلاح المهندسين يعمل في بناء سد بونفيل على نهر كولومبيا، وسد فورت بيك العملاق على نهر ميسوري. أما مكتب الإصلاح الزراعي الذي كلف بالعمل في سبع عشرة ولاية غربية، فقد كان يضع اللمسات الأخيرة على يد هوفر (الذي كان يعرف عندئذ بسد بولدر)، ويقوم بالأبحاث المبدئية لبناء سد جديد عملاق على نهر كولومبيا، هو سد جراند كولي.وكثيرا ما دب الخلاف

بين مهندسي الجيش ومكتب الإصلاح الزراعي خلال هذه الفترة. وكان الدور التقليدي لمهندسي الجيش هو معالجة مشاكل الملاحة والتحكم في الفيضان، بينما عالج مكتب الإصلاح الجيش هو معالجة مشاكل الملاحة والتحكم في الفيضان، بينما عالج مكتب الإصلاح الزراعي مشاكل الري. فمن الناحية النظرية كان المفروض أن يعمل مهندسو الجيش في الجزء الأسفل من النهر، بينما يعمل مكتب الإصلاح الزراعي في أعالي النهر، فلا يكون ثمة مجال للنزاع.

لكن الفلسفة السائدة في العهد الجديد لبناء السدود، هي فكرة السد "المتعدد الأغراض"، إذ أصبح توليد القوى الكهربائية والتحكم في الفيضان وري الأراضي أهدافا ثلاثة يحققها سد واحد. وهكذا، انطمت معالم الحدود القديمة التي تفصل بين مهام الهيئتين المسئولتين عن بناء السدود، وأصبح لزاما على الكونجرس أن يكلف هذه الهيئة أو تلك باختصاصات لا تخضع لذلك التحديد الصارم لأهداف منفردة مستقلة.

وبدا منطقيا أن تتضمن السدود الكبيرة الجديدة أجهزة لتوليد الكهرباء. واشتد الجدل، وقيل إنه طالما أن السدود لازمة للتحكم في الفيضان وري الأرض، فلماذا لا تتحمل الدولة النفقات الإضافية الضئيلة نسبيا، فنقيم محطات لتوليد الكهرباء؟، فبهذه الطريقة يمكن توليد الكهرباء بتكلفة زهيدة ليستفيد بها المواطنون، الذين هم مصدر القوة التي تصدر القوانين لإنشاء السدود.

وتعرضت هذه الفكرة لحملات من عدة جهات، كان أشدها بطبيعة الحال شركات الكهرباء الخاصة التي رأت في برنامج الحكومة تهديدا مباشرا لمصالحها. فكانت تخشى أن تضطر إلى منافسة حكومة الولايات المتحدة، ورأت أن دخول الحكومة في مجال إنتاج الطاقة الكهربائية خطوة نحو الاشتراكية. وأصرت هذه الشركات الخاصة المنتجة للكهرباء، على أن هذه المشروعات العامة لا ضرورة لها في واقع الأمر.

من ذلك مثلا، أنه عندما أعلن عن مشروعات الطاقة الكهربائية الشعبية في العهد الجديد، تساءل "توماس ماك كارتر" رئيس معهد إديسون للكهرباء متعجبا: "أيمكن أن يكون هناك ما هو أكثر ظلما وعدوانا؟، إن كمية الكهباء الموجودة الآن فعلا في تلك المناطق تفوق كثيرا ما تدعو إليه الحاجة".

ورأى مهندسو الجيش هذا الرأي أيضا، كما رأوا أن السدود العامة الجديدة ينبغي ألا تباع كهرباؤها مباشرة للمستهلكين، بل إن الكهرباء التي تولد عند السدود ينبغي أن تباع لشركات الكهرباء الخاصة، وبذا يكون في وسعها أن تبيعها من جديد للجمهور. وبينما كان العمل جاريا في سد بونفيل عام ١٩٣٦ عرضت على الكونجرس مشروعات قوانين تخول مهندسي الجيش حق الإشراف على السد وبيع كهربائه إلى من يقع عليه اختيارهم — أي شركات الكهرباء الخاصة. وقد عارض الرئيس روزفلت هذه الفكرة. وفي عام ١٩٣٧ صدر قانون كهرباء بونفيل الذي يتيح للجمهور الحصول على

كهرباء زهيدة الثمن مباشرة من الحكومة.وجاء هجوم آخر على الكهرباء الشعبية من فريق من دافعي الضرائب ممن عارضوا المشروع كله، لأنه لا يفيدهم في شئ. فالإنسان الذي يسكن في شيكاغو أو نيويورك، لم يكن يفيد شيئا من السدود الجديدة، ولن تنخفض أسعار الكهرباء "بالنسبة له". فتيسير الكهرباء الزهيدة الثمن في أوريجون أو أريزونا أو تنيسي أمر لا يثير اهتمامه. بل لقد كان في وسعه أن يجادل متسائلا: "لماذا تفرض عليَّ الضرائب لكي يتمكن الناس في سياتل من أن يحصلوا على الكهرباء بأسعار منخفضة؟".

ومثل هذا النقاش كثيرا ما ينشأ بين الحين والحين في بلد مترامية الأطراف مثل الولايات المتحدة. فعندما تنفق الأموال العامة على شئ لا يستفيد منه إلا قطاع واحد من الأمة، يكون للقطاعات الأخرى أسلوبها في الاعتراض. فكان المدن ينددون بالمعونة الزراعية. وأهل الريف يعارضون مساعدة الحكومة الفدرالية لقطاعات الضواحي، ثم إن سكان المناطق الشرقية لا يرون أن ثمة حاجة لإقامة سدود جديدة في أقصى الغرب وهلم جرا.

ولكل من الطرفين حججه القوية. وقد رأى كثير من الأحرار أن حملة روزفلت لتوفير الكهرباء الزهيدة الثمن للجمهور عن طريق الأشغال العامة، أمر على جانب كبير من الأهمية بالنسبة للأمة جمعاء. فقد كتب مثلا آرثر شلزنجر، وهو مؤرخ من أنصار العهد الجديد عمل بحكومة كيندي، يعلق على برنامج روزفلت الفريد في تيسير الكهرباء للشعب،

وهو إدارة كهرباء الريف فيقول: "كانت حياة المزرعة إلى عهد قريب حياة شاقة مظلمة تقصم الظهر، فتبدل الحال خلال عشر سنوات عجيبة، إذ تيسر لها مبدأ جديد للطاقة والنظافة والنور. وليس ثمة حادث واحد، ربما باستثناء اختراع السيارة، كان له مثل أثره الفعال في تخفيف أعباء المزارعين وتقريب الهوة بسرعة بين الريف والحضر. وليس ثمة مرفق عام واحد أضفي على حياة الريف ما أضفته الكهرباء من رفاهية".

وهذا الحماس الذي يناقش به شلزنجر فلسفة الكهرباء نلمسه أيضا في حديثه عن هيئة وادي تنيسي، وقانون بونفيل للكهرباء، وسائر برامج تسويق الكهرباء في ظل العهد الجديد. لكن السياسيين المحافظين لا يشاركونه هذا الحماس. فكتاب "إلمر بيترسون" مثلا "حماقة السدود الكبرى" هجوم على السدود بوجه عام، ثم على نظرية التحكم في الفيضان بوجه خاص، ويتعرض لبرنامج الحكومة الاتحادية في توليد الطاقة الكهربائية فيقول:

"من أغرب الزوايا في كل هذه الصورة المعقدة أنك تجد بين الحين والحين أنصار" اشتراكية الدولار "يلعبون أدوارا هامة. إنهم أنانيون قصار النظر في موقفهم من المرافق العامة وتوزيع الكهرباء. وهم يعادون المصالح الحقيقية الطويلة الأمد المتمشية مع نظام الأعمال الحرة، وذلك بتقويض أركانها من أجل سدود الكهرباء الفدرالية الكبيرة. والسبب في ذلك أنهم في موقف يستطيعون فيه شراء الكهرباء الفدرالية بالجملة

بسعر أقل مما يستطيعون إنتاجه أو شراءه من منتجي الجملة في مجال العمل الحر، ثم يبيعونه نظير ربح. وطبيعي أن هذا وضع محير للجمهور العادي الذي لا يألف اللف والدوران.

سد هوفر

الجدل حول مزايا توليد الكهرباء بمعرفة القطاع الخاص أو القطاع العام يعتبر مناقشة سياسية فلسفية هامة. لكن السياسة يمكن أن تنزلق إلى مستوى تافه أيضا، كما يدل على ذلك ما حدث حول إسم السد الكبير المقام على نهر كولورادو، الذي كان في يوم من الأيام أضخم ما بناه الإنسان ولا زال يحتل مكانة بين أعلى وأضخم السدود. والسد الذي يطلق عليه الآن سد هوفر ظل سنوات طويلة موضع نقاش وجدل، لكن أول خطوة حقيقية نحو الانتقال بفكرته من لوحات الرسم اتخذت في ٢٦ يناير ١٩٢٢ عندما عقدت لجنة نهر كولورادو التي عينها الرئيس هاردنج، أول اجتماع لها لبحث فكرة بناء السد. وكان رئيس اللجنة هو (هربرت هوفر) الذي كان وزيرا للتجارة في ذلك الوقت وكان المفروض أن يطلق على السد (سد بولدر). وقد أقر الكونجرس بناء السد فعلا في ديسمبر سنة ١٩٢٨. وبعد ذلك بأشهر قليلة دخل هربرت هوفر البيت الأبيض رئيسا للولايات المتحدة. وتغير إسم السد بأمر وزير الداخلية "راي ليمان ولبور" من سد بولدر إلى سد هوفر ولكن في سنة ١٩٣٣ حل الديمقراطيون محل الجمهوريين في الحكم. ورأى وزير داخليه الرئيس روزفلت "هارولد أيكس" أنه ليس من المناسب أن يطلق على السد إسم رئيس جمهورية سابق من الحزب السياسي المعارض.

ولذا فقد أمر في سنة ١٩٣٣ بتغيير الاسم مرة ثانية إلى "سد

بولدر"، وظل يعرف بهذا الاسم طوال أربعة عشر عاما. ودشن بهذا الاسم سنة ١٩٣٦ ولا زال معظم الذين دخلوا المدارس في الثلاثينات والأربعينات يطلقون عليه اسم "سد بولدر" على أنه في سنة ١٩٤٦ سيطر الجمهوريون على الكونجرس، وفي العام التالي تقدموا بمشروع قانون لإعادة اسم السد إلى "سد هوفر"، وبقي هذا الاسم إلى الآن.

كذلك كان سد هوفر مشكلة سياسية من نواح أخرى أكثر خطورة ودقة. وكانت الصعوبة في تحديد من يستفيد بالسد، وإلى أي حد.والسد الكبير مقام عبر نهر كولورادو الذي ينبع في الولاية المسمى باسمها، ويجري خلال يوتاه إلى أريزونا، مكونا لحد الفاصل بين هذه الولاية وبين نيفادا أولا ثم كاليفورنيا إلى أن يصب أخيرا في خليج كاليفورنيا بالمكسيك.ونهر كولورادو نهر قوي يستعرض عضلاته. وليس هناك ما يدهش أو يثير في منظره العام – إذ لا يعدو أن يكون جدول ماء ضيقا في أماكن كثيرة وتتشع مياهه أيام التحاريق. ثم إنه كثير الطمي – "بحيث لا يمكن شربه لكثرة الطين فيه، ولا يمكن حرثه لكثرة الماء في طميه".

ولابد أن يكون الطمي دليلا على مدى قوة نهر كولورادو. فهو إذ ينساب جنوبا من مناطق الصخور يجرف الأرض ويحفر أخاديد عميقة ويحمل معه أطنان الطمي والغرين. ومما يشهد بقوة النهر جدران الجراند كانيون أو الأخدود الكبير التي تبلغ عمقها ميلا. وكم من سائح تحمل مشاق السفر الطويل على ظهور البغال وهبط جدران الجراند كانيون

لمجرد النظر إلى حافة النهر من تحته، فخاب أمله، إذ لم ير أمامه إلا نهرا بنى اللون حسب ما تحويه مياهه من طمي، وليس في حجمه ما يلفت النظر.ونهر كولورادو نهر شاب فتى شديد الانحدار، ويندفع شاقا طريقه عبر المنطقة التي يمر بها. وسوف يبلغ يوما ما في المستقبل البعيد مرحلة "النضج" كنهر، بعد أن يشق لنفسه مجرى مستويا، ثم ينساب هادئا وديعا، مثل نهر الهدسون في نيويورك ويتوقف عن حفر الأخاديد في طريقه. والأنهار الشابة هي أكثر الأنهار اضطرابا وثورة وسرعة وعمقا فيما تحفره من الأرض، ثم إنها أكثر الأنهار ميلاءمة كموارد للقوى الكهربائية.

وفي القرن التاسع عشر عندما اكتشف نهر الكولورادو لأول مرة، كانت فكرة بناء السدود لتوليد القوى الكهربائية من دفع الماء أمرا لم يسمع به أحد، وبدا أن نهر الكولورادو لم يكن يصلح لشئ على الإطلاق. وقد نجا الميجر جون باول بأعجوبة، إذ قام سنة ١٩٦٩ على رأي أول حملة للملاحة في نهر الكولورادو. فالصخور الناتئة المختفية في الماء كانت تجعل من الكولورادو غولا يحطم السفن، وإن كانت حملات كثيرة أخذت ترتاده ملتزمة الطريق الذي سلكه ميجر باول في القرن الأخير. على أنه لا زال غير صالح للملاحة اللهم إلا للمغامرين، أما بالنسبة للسفن التجارية فلا زال الكولورادو عديم القيمة كذلك لم يكن ذا قيمة كبيرة للزراعة، فإن القوة التي يجري بها النهر قد حفرت أخدودا عميقا بعيد الغور بحيث لا تستطيع الأرض المجاورة له أن تنتفع

بمياهه، وهكذا نساب النهر عبر صحراء لا يكاد يسكنها أحد في أغلب المنطقة التي يجري بها. ولا يقل ارتفاع جدران الأخاديد إلا بقرب مصب النهر عند أخدود المكسيك، حيث يمكن حمل المياه عبر القنوات لري الوديان المحيطة بالنهر.

وفي عام ١٨٩٦ قامت شركة باسم شركة تنمية كاليفورنيا، وبدأت بشق قنوات الري لتحمل الماء من نهر كولورادو إلى وادي أمبريال القريب الذي كانت تربته خصبة لأنه عديم المطر. على أن شركة تنمية كاليفورنيا تعطلت أعمالها بسبب أحوال النهر المتقلبة بين الفيض والجفاف. ففي شطر كبير من السنة كانت مياه الكولورادو شحيحة لاتفي بحاجة الري. ثم بعد ذوبان الجليد في الربيع يصبح النهر وحشا هائجا يزأر بين الصخور ويغمر القنوات بالفيضان. ولم يكن الري شيئا عمليا في هذه الظروف، إذ أن المزارع المترامية في وادي إمبريال لم تكن تحصل على حاجتها من الماء خلال فصل الجفاف، بينما كانت المزارع القريبة من النهر تغمرها المياه بانتظام في الربيع.

ولكي تذلل هذه المشكلة الثقيلة الظل، عمد مهندسو شركة تنمية كاليفورنيا إلى بناء الحواجز والأرصفة على أمل أن توقف الفيضانات. ولم يكن هذا ليحل مشكلة التحاريق، لكنه كان مفروضا أن يحجز تيارات الماء المدمرة في فصل الربيع، أو هكذا كان الرجاء المعقود عليها، لكن النهر المشاكس لم يكن من السهل ترويضه. فبنفس السرعة

التي كانت تبنى بها الجسور، كان النهر يرسب الطمي في القنوات بحيث كان مستوى الماء يرتفع على الدوام. وكانت القنوات تمتلئ بالطمي والغرين الذي يغترفه ماء النهر من الجنوب.

وقد نجمت عن فيضانات الربيع سنة ١٩٠٤ أضرلر جسيمة. وعندما انحسرت المياه حفر المهندسون ممرا جانبيا على طول قناة إمبريال التي امتلأت بالطمي، وكانت الفكرة تهيئة قناة تحويل لتعالج أمر فيضانات الربيع التالي. لكن موسم الفيضان ذلك العام لم يكن قد انتهى تماما، فانسابت تيارات جديدة من أعالي النهر قبل أن يتيسر بناء بوابة عبر الفجوة بين القناة والممر الجانبي، وغمرت مياه الفيضان الممر منسابة إلى قناة إمبريال وتدفقت إلى حقول وادي إمبريال وشقت طريقها حتى وصلت إلى منطقة تنخفض ٢٨٠ قدما تحت مستوى البحر، وكانت تعرف إذ ذاك باسم حوض سالتون، ثم من ذلك العام باسم بحر سالتون – وهي بحيرة مساحتها ٣٠٠ ميل مربع كونها فيضان عام ١٩٠٤. واستغرق الأمر بضع سنوات، واقتضى عدة ملايين من الدولارات للسيطرة على النهر وتحويله عن هذه القناة الجديدة التي امتدت إلى بحر سالتون، وإعادته إلى مجراه القديم المؤدي إلى خليج كاليفورنيا. وأخيرا أمكن استعادة الحواجز والأرصفة. ولكن في سنة ١٩٠٩ انطلق النهر الشيطاني من عقاله مرة أخرى وشق لنفسه مجرى جديدا آخر. ووصلت مياه الفيضان هذه المرة لحسن الحظ إلى خيلج

كاليفورنيا على أي حال، لكن بعد أن سببت كثيرا من الضرر في طريقها.

وقد أعاد حاجز أوكرسون مجرى النهر القديم في عام ١٩١٠. إلا أن النهر سرعان ما اجتاحه بازدراء، وحدثت كارثة أخرى سنة ١٩١٦ عندما فاض نهر "جيلا"، وهو أحد روافد الكولورادو، وأرسل جرفا ضخما من الجليد الذائب بمعدل ٢٠٠ ألف قدم مكعبة في الثانية. وأغرق السيل مدينة "يوما" بأريزونا حيث يصب نهر "جيلا" في الكولورادو، وغمر الماء الشوارع حيث بلغ ارتفاعه أربع أقدام.وأصبحت السيطرة على هذا النهر أملا يراود الجميع، ولكن كيف يتحقق ذلك؟، وماذا يمكن أن يسيطر على هذه الفيضانات الرهيبة؟ وكيف يمكن احتجاز مياه النهر المتفجرة لاستخدامها في ري الأرض وقت التحاريق ولتوليد القوة الكهربائية على طول السنة؟ كان من الواضح أنه لابد من إقامة سد. لكن القول بأنه ينبغي أن يقام سد، أمر يختلف كثيرا عن الشروع في بناء السد فعلا. وبناء سد على الكولورادو لم يكن مهمة هينة. واعتبر الناس أولئك الذين اقترحوا إقامته قوما خياليين يسبحون في بحر من الأحلام.

كان أكثرهم إغراقا في الخيال رجل يدعى آرثر باول ديفز، وهو ابن أخت الميجر جون باول، وكان محاربا قديما بترت ذراعه في الحرب الأهلية، وقام سنة ١٨٦٩ بتلك الرحلة الانتحارية التي استغرقت تسعين يوما في مجاهل الكولورادو خلال منطقة الجراند كانيون الرهيبة. كان

آرثر ديفز يناهز الثامنة من عمره عندما قام خاله بهذه الرحلة البطولية، وتأثر تأثرا عميقا بقصص المخاطرة التي قام بها خاله – وخصوصا عندما أعرب ميجر باول عن أمله في أن يتمكن الإنسان يوما من السيطرة على غضب الكولورادو لصالح الإنسانية، وإيمانه بأن هذا العمل سوف يتم إنجازه في آخر الأمر.

وأخذ ديفز الصغير يفكر كم يكون رائعا إذا أمكن أن يكون له يد في استئناس هذا النهر الشيطاني! لقد اقتحم خاله النهر بسفينته – لكن هل يمكن السيطرة عليه بصفة دائمة؟ ورأى آرثر ديفز أن ذلك أمر ممكن. وفي سنة ١٩١٤ أصبح أرثر ديفر مديرا لمكتب الإصلاح الزراعي في الولايات المتحدة. وكان من أول أعماله تقديم مشروع بإقامة سد الكولورادو. وفي ذلك الوقت كان أعلى سد في العالم لا يتجاوز ارتفاعه ٣٠٠ قدم. وكان المهندسون الفرنسيون يبنون سدا اعتبروه عملاقا ضخما، إذ يبلغ ارتفاعه ٤٥٠ قدما. لكن السد الذي ارتآه آرثر ديفز، كان لابد أن يبلغ ارتفاعه ارتفاع هذين السدين معا، بحيث يتراوح على الأقل بين ٧٠٠ و ٧٥٠ قدما.

كان مشروعا طموحا. وأمام الجدران العالية لهذا السد المهيب، كان المفروض أن يتجمع في بطء خزان في حوض الكولورادو من الضخامة، بحيث يحتجز كل نقطة من الماء يجئ بها النهر طوال سنتين من الفيض المنتظم. وكان المقدر أن يكون أضخم بحيرة بصنعها الإنسان

في أنحاء العالم وتحتجز من الماء ما يكفي لتغطية ولاية نيويورك بعمق قدم واحدة، أو إغراق كونكتيكوت بعمق عشر أقدام. وقدر أن تولد مياه الخزان ٦ بليون كيلووات في الساعة من الطاقة الكهربائية كل سنة لتستفيد بها المدن النامية في جنوب كاليفورنيا. ويحجز الخزان مياه الفيضان، إذ تنساب إليه، وتخرج فتحات من تصريف السد بكميات محددة تجري في هدوء إلى مزارع وادي إمبيريال. وكان المفروض أن يكون السد المقترح متعدد الأغراض، فيتحكم في الفيضان وييسر توليد الطاقة الكهربائية ويروي الأرض، فيفيد مناطق الجنوب الغربي من هذه النواحي الثلاث. وكان هناك إلى جانب هذه الأهداف الرئيسية أهداف أخرى إضافية، إذ يمد السد ثلاث عشرة مدينة من مدن كاليفورنيا بماء الشرب، ويهيئ بخزانه منطقة سياحية صالحة للملاحة أميالا عديدة. وعندما اقترح آرثر ديفز هذا المشروع الضخم، قوبل بشتى ألوان النقد والسخرية، وقال بعضهم، إنه "سيتكلف أموالا طائلة، فمن ذا الذي يغامر بإنفاق كل هذا المال لمجرد إقامة سد على نهر لا أمان له في بقعة من البلاد لا يقطنها أحد؟".

وأصر غيرهم على أن السد لا يمكن بناؤه على الإطلاق. فنهر الكولورادو المشهور لن يهدأ فترة طويلة تسمح لعمال البناء المساكين بإرسال جدار عبره. وسلم بعضهم جدلا، بأن السد قد يتيسر بناؤه لكنهم رأوا أنه لن يعمر طويلا وقالوا، "إنه لن يصمد أمام أول فيضان كبير، بل لا

مفر من أن ينهار أمامه. فإذا أقيم الخزان واجتاح الفيضان السد اكتسحت مياهه نصف كاليفورنيا" ورأت إحدى مدارس الرأي السقيم، أن رفع وخفض مستوى الماء في الخزان سوف يجهد القشرة الأرضية ويحدث زلازل أرضية، وكان زالزال سان فرانسسكو عام ١٩٠٧ ما برحت ذكراه ماثلة في الأذهان، بصورة توحي باحتمال انفجار منطقة جنوب الغرب وانزلاقها إلى المحيط الهادي في أية لحظة، ولاسيما إذا أقيمت مثل تلك السدود الخيالية المقترحة. ثم إن بعض المراقبين من قصار النظر ممن عجزوا عن تصوير نمو لوس أنجليس والمدن المحيطة بها نموا سريعا، راحوا يتساءلون متشائمين من أين يجئ العملاء الذي يشترون البلايين الستة من الكيلووات في الساعة من الطاقة الكهربائية التي سيولدها السد الجديد؟. وكانت الخطوة التالية مسح حوض الكولورادو وتحديد أنسب موقع للسد.

ولنهر الكولورادو حوضان طبيعيان، حوض علوي وآخر سفلي، والولايات التي تفيد بصرف مياه الحوض العلوي هي ويومنج، وكولورادو، ويوتاه، ونيومكسيكو، وأريزونا. وولايات الحوض السفلي هي أريزونا، ونيومكسيكو، ونفادا، وبوتاه، وكاليفورنيا لذلك، فإن بناء السد في الحوض العلوي لن يفيد كثيرا في ري وادي إمبيريال بكاليفورنيا أو في إمداد لوس أنجليس بالطاقة الكهربائية. وكان لابد من بناء السد في الحوض السفلي. وراح مهندسو الإصلاح الزراعي يجربون الأرض حيث

المضايق الجبلية البارزة لنهر الكولورادو بحثا عن أصلح موقع ممكن للسد . ودرسوا سبعين موقعا قبل أن يقع اختيارهم على "بلاك كانيون" أو الأخدود الأسود، وهي بقعة على الحدود بين أريزونا ونفادا على مسافة ثلاثين ميلا من مدينة لاس فيجاس بنيفادا، حيث ينحني النهر عبر قمم جبال داكنة حمراء عمودية يتراوح ارتفاعها بين ألف وألفي قدم. وعند خط الماء كانت المسافة بين جدران الضفتين الصخرية تبلغ ٣٥٠ قدما.

واستغرق المسح المبدئي لمنطقة بلاك كانيون ثلاث سنوات. وأخذ المهندسون يرتادون ضفافها التي خبزتها الشمس، يجرون التجارب على الصخور ويثقبونها ليتأكدوا من قدرتها على احتمال الأوزان الضخمة من الخرسانة التي سوف توضع عليها، وانتهوا إلى أنها متينة تحتمل الثقل المطلوب، فأوصوا بضرورة بناء السد العملاق لكن قبل بدء اشارة الانطلاق في العمل كان لابد من تسوية بعض المشاكل السياسية الهامة. فقد بدا للولايات التي يمر خلالها الكولورادو أن كاليفورنيا ستفوز بنصيب الأسد من مزايا السد المزمع إقامته. وخشيت ولايات الحوض العلوي أن تحصلي ولايات الحوض السفلي ولاسيما كاليفورنيا، على أكثر من نصيبها من مياه الكولورادو التي تفيض خلال أراضيها هي وهي في طريقها إلى موقع السد المقترح. كذلك، فإن ولايات الحوض السفلي بدورها خشيت أن تعمد ولايات الحوض العلوي إلى تحويل قدر كبير من مياه النهر، بحيث لا يتبقى فيه ما يكفي لسد حاجة مناطق الحوض

السفلي وهدد الجدل والنزاع مشروع سد بلاك كانيون بالانهيار. عين الرئيس هاردنج وزير تجارته هربرت هوفر لرئاسة لجنة تضم ممثلي الولايات السبع المعنية. وبعد سلسلة من الاجتماعات عقدت عام ١٩٢٢ تم الوصول إلى اتفاق بشأن تقسيم مياه الكولورادو بين الحوضين العلوي والسفلي.

وبموجب هذه الأتفاقية سمح لمناطق الحوض العلوي (أجزاء من ولايات كولورادو ويوتاه، ووايومنج، ونيومكسيكو، وأريزونا) أن تحول ٧,٥ مليون فدان قدم من الماء كل عام للاستخدامات الاستهلاكية النافعة" (وعبارة فدان قدم تعني مقدار الماء الذي يكفي لتغطية فدان من الأرض بالماء بعمق قدم واحدة). على أن هذه الولايات باستثناء أريزونا تنعهد بألا تتسبب في انخفاض منسوب الماء إلى أقل من مجموع قدره ٧٥ مليون فدان قدم عند نقطة تفتيش معينة هي "ليز فيري" بآريزونا، في خلال أية فترة تتكون من عشر سنوات متتابعة. فإذا هبطت المياه إلى أقل من المستوى المتفق عليه وجب على ولايات الحوض العلوي أن تنقص من تحويل الماء.

كذلك خولت ولايات الحوض السفلي حق "الانتفاع الاستهلاكي" لسبعة ملايين ونصف فدان قدم من الماء كل عام، مع الحق في زيادة استلاكها بمعدل مليون فدان قدم في السنة. وقد وقعت حكومة الولايات المتحدة فيما بعد معاهدة مع المكسيك نضمن فنها لهذا البلد من ١,٥

إلى ١,٧ مليون فدان قدم من الماء كل سنة. ذلك لأن نهر الكولورادو يجري أيضا خلال الأراضي المكسيكية في طريقه إلى البحر وتقسيم المياه بين ولايات الحوضين العلوي والسفلي حل على الأقل أكبر مشكلة، وأصبح في الإمكان الشروع في بناء السد. لكن الولايات، منفردة، في كل من الحوضين كانت لها مشاكلها في توزيع أنصبتها من الماء فيما بينها. ولم تتفق ولايات الحوص العلوي حتى عام ١٩٤٨ على حقوق المياه الفردية، وهذا يسبب احتكاكا مستمرا في جنوب الغرب. ففي عامي ١٩٥٢ و١٩٥٣ مثلا، أقر مجلس الشيوخ مرتين مشروع أريزونا المركزي، وهو خطة تهدف إلى إعطاء أريزونا بصفة إضافية ١,٢ مليون فدان قدم من مياه نهر الكولورادو في السنة.

وكانت معارضة كاليفورنيا لهذه الفكرة من العنف بحيث فشل المشروع في المرتين في مجلس النواب. والماء مطلوب لري أراض جديدة يجري فيها الإصلاح فعلا. وترى ولاية أريزونا أنه بدون حذا الماء، فإن المنطقة التي تروي ستفقد كثيرا من قدرتها الإنتاجية وأن آلاف الأفدنة قد خسرت خصوبتها فعلا. لكن كاليفورنيا، حرصا منها على رعاية حاجتها لمستقبلة من الماء، لا تفكر في السماح لأريزونا بأن تحصل من الماء على أكثر مما تحصل عليه الآن. فمورد الماء محدود على أية حال، رغم ضخامة نهر كولورادو.

هذه هي بعض المنازعات السياسية التي تدور بشكل لا نهاية له في

المناطق التي تبنى فيها السدود الكبرى. وكافة ولايات جنوب الغرب تنمو بسرعة، وليس ثمة ولاية منها على استعداد للتخلي لجاراتها عن نقطة واحدة من الماء أكثر مما تقضي به الضرورة القصوى وفي ديسمبر ١٩٢٨ اعتمد الكونجرس ١٦٥ مليون دولار لإقامة ما أطلق عليه إذ ذاك سد بولدر، وبناء قناة طولها ٨٠ ميلا عبر كاليفورنيا الجنوبية، وهي قناة كلها أمريكية، لتجلب مياه الكولورادو إلى وادي إمبيريال.

بناء سد هوفر

لم يبدأ العمل الحقيقي في بناء السد حتى أواخر عام ١٩٣٠. وكان هربرت هوفر – وهو مهندس – ورئيسا للولايات المتحدة آنئذ. ورأى آرثر باول ديفز – وكان يناهز السبعين من عمره ويوشك على الاستيداع – حلم عمره الطويل يتحقق، إذ وقف فوق الكولورادو وراقب آلاف العمال يشقون الأرض بمعاولهم ويفجرون الصخر بالديناميت من تحته وكل من زار مدينة لاس فيجاس، تلك العاصمة الصناعية المغامرة المضاءة بأنوار النيون، لديه فكرة واضحة عن نوع الجو في هذا الجزء من البلاد. فخلال النهار تبلغ درجة الحرارة نحو ١٠٠° في فترة طويلة من السنة. والحرارة من النوع الجاف لكنها خانقة. وأغلب الأرض صحراء جرداء مقبضة، فليست مكانا ملائما لعملية البناء.

ومهما كان شح البيئة وعدم إكرامها للضيف، فقد كان لابد من بناء السد. وكانت أول خطوة هي بناء مدينة لإيواء العال – هي مدينة بولدر التي

بنتها الحكومة الاتحادية بتكاليف قدرها ٧٠ مليون دولاء. ولم تكن مدينة بولدر مجموعة من الأكواخ المؤقتة تقام حيثما اتفق ويهجرها سكانها بعد إتمام عملية البناء، بل لقد وضعت الخطة على أساس أن تكون مستعمرة دائمة يسكنها عمال البناء، وبعد إتمام العمل ورحيلهم من المنطقة يسكنها من بعدهم آلاف من عمال الصيانة. لذلك، فإن هذه المدينة المقامة على مساحة قدرها ٣٠٠ فدان وتتسع لإيواء ٥٠٠٠ عامل وأسرهم تختلف اختلافا بينا عن مدن الرواد الأوائل في براري الغرب، وشوارعها الأنيقة المرصوفة أقرب إلى شوارع الأحياء الراقية منها إلى شوارع مدينة تبنى في جوف صحراء الغرب. وكانت مهمة المهندسين الأولى، كما هو الحال دائما، هي تحويل مجرى النهر أثناء عملية البناء. فحفروا أربع قنوات، عرض كل منها ٥٦ قدما وطولها أربعة آلاف قدم في صخور الوادي المتينة. وكان المفروض أن تتلقى هذه القنوات الفرعية تيار الماء وتحمله إلى نقطة وراء موقع بناء السد. وكان لابد من إزالة مليون ونصف مليون قدم مكعبة من الصخور لبناء هذه الممرات الجانبية الأربعة.

وبعد ذلك بنى السد الأمامي، وهو الجدار المؤقت أمام موقع البناء في النهر. فأعدت كومة ضخمة هائلة من الصخور والتراب دفعت مياه النهر إلى تحويل مجراها إلى القنوات الفرعية الأربع. ولأول مرة في تاريخ الأرض ظهر قاع النهر عاريا متجردا من الماء، عرضة للشمس والهواء وسرعان ما هبط العمال إلى قاع النهر الجاف لوضع أساس السد. وكان

لابد من صب سبعة ملايين طن من الخرسانة، يبلغ حجمها ٣,٤٠٠،٠٠٠ ياردة مكعبة. ولكي يتحمل الأساس هذا الثقل الضخم، إلى جانب ثقل الماء، كان لابد من أن يكون سمك قاعدته ٦٦٠ قدما. وسد هوفر من نوع سدود المباني الصلبة المصمتة التي تعتمد على الثقل الذاتي، مثل سد روزفلت. وكلاهما على هيئة منحنى (قوس) أمام النهر، حتى يستند حمل الماء جزئيا على جدران الأخدود. ويبلغ معدل الضغط الذي يضغط به الماء على سد هونفر ٤٥ ألف رطل للبوصة المربعة عند القاع، ورغم ضخامته فهو يحتاج إلى مساندة من جدران الأخدود لتصمد للدفع الخارجي الأبدي.

وارتفع بناء السد على هيئة مروحة عملاقة. وكلما ارتفع البناء عن قاع النهر، زاد طوله أيضا لأن أخدود النهر على شكل رقم ٧ وتتسع المسافة بين ضلعيه عند الحافة. وتجاوزت كتلة الخرسانة الرقم القياسي ٥٠٠ قدم إلى ٦٠٠، ثم إلى ٧٠٠ ثم إلى ٧٢٦ ارتفاعا من قاع النهر، وامتد السد ١٣٠٠ قدم بين حافتي الأخدود كالمروحة بسمك عند القمة يبلغ عشر سمكه عند القاع، فلا يتجاوز ٤٥ قدما.وعندما بلغ هذا الوحش الضخم الأبيض ارتفاعه المقدر له وامتد كالمروحة بين جداري الأخدود، تمت عملية البناء بعد أن استغرقت عامين من العمل المستمر دون توقف، كل دقيقة في الساعة، أربعا وعشرين ساعة في اليوم، ٣٦٥ يوما في السنة ومر عيد الميلاد ورأس السنة والرابع من يوليو (عيد

الاستقلال) وأعمال البناء قائمة على قدم وساق، والخرسانة تتدفق دون هوادة تحت الشمس الحارقة بالنهار وتحت الأضواء القوية في السماء وتدافعت المياه المحاصرة متلاطمة على سطح الجدار الأملس وتوقفت هناك خائرة. وفي أثناء عملية البناء ارتفع منسوب المياه أمام السد الأمامي خمسين قدما رغم تصريف الممرات الجانبية. وعندما سدت هذه الممرات أخذ مستوى الماء يرتفع على وجه أسرع، وبدأت تتكون أمام السد بحيرة. واستغرق تكوين البحيرة ثلاث سنوات كي تصل إلى حجمها المطلوب، وقد سميت بحيرة "ميد" باسم رئيس مكتب الإصلاح الزراعي، واحتجزت أخيرا خزانا طوله ١١٥ ميلا. وتعتبر "ليك ميد" أكبر بحيرة صنعها الإنسان في العالم، حتى الوقت الراهن على الأقل، وإن كانت شهرتها هذه ستواجه سلسلة من التحدي عندما يتم بناء بضعة سدود يجرى العمل فيها الآن.

وسد هوفر اليوم من المشاهد السياحية الجذابة في جنوب الغرب، وتغادر سيارات الأتوبيس لاس فيجاس يوميا منطلقة في الصحراء الكاوية أميالا طويلة ثم تستدير فجأة نحو منطقة السد. وهناك يلتقي الزوار بمتحف يشرح لهم كل شئ عن السد، ولكن بعضهم يتخلف ليرى السد نفسه وهناك طريق يؤدي إلى أعلى قمة في السد وفي وسعك أن تمشي عليه، فإذا استدرت يسارا وتطلعت أمام السد رأيت "ليك ميد" بزرقتها المهيبة ممتدة شمالا قرابة ١١٥ ميلا. والبحيرة مكان جميل للنزهة بالقوارب فهي الآن

مكان لهو وتسلية، وعلى جوانبها شواطئ الاستحمام ومعسكرات الرحلات، وتمخرها قوارب المنزهة وغيرها من مباهج تجذب الجمهور. وبعد أن كان المكان صحراء جدباء خانقة يخترقها نهر كئيب ملتو في أخدود عميق، اصبح الآن بحيرة هادئة جليلة رائعة، وبها من الأسماك بعمق ٦٠٠ قدم ما يريح بال أسطول ضخم من الصيادين إلى الأبد.

ومحطات توليد الكهرباء الملحقة بالسد تفتح أبوابها للمشاهدين. وفي وسعك أن ترى أولا بحيرة "ميد" ثم أبراج مداخل الماء الأربعة، مرتفعة ٣٩٠ قدما ناتئة في البحيرة. ثم في وسعك أن تنزل في مصعد كهربائي يهبط بك في قلب الخزان لتشاهد محطات توليد القوى الكهربائية. وركوب المصعد مغامرة مثيرة مزعجة بعض الشئ، لأنك تعرف أن كتل المياه المتطايرة لا تبعد عند أكثر من ياردات قليلة، وتشعر بشئ من الخوف من عجز الإنسان وحيوط أعماله. لكن سرعان ما يزاولك هذا الشعور، إذ تستمر في النزول ليحل محله شعور بالبهجة والثقة — إذ تتبين أن السد سوف يحميك رغم كل شئ. وتشعر بدهشة وعجب مفاجئ، إذ تعلم أن مخلوقات ضعيفة صغيرة تشبهك تماما قد نجحت بطريقة ما في كيح جماح هذا النهر العنيف. وما أن تصل إلى قاع المكان حتى تشعر كأنك عملاق تصمد لدفع الماء بنفسك بيد واحدة تمدها صوبه في استخفاف. وجولة في القاع كفيلة بأن تعطيك فكرة عن الطريقة التي يؤدي بها السد وظيفته، وتعرف كيف يتدفق الماء في مداخل الأبراج

الرشيقة المصنوعة من الخرسانة المسلحة، وبواباتها تعمل بالكهرباء وتتحكم في مرور الماء إلى أنابيب الصلب، وقطرها ٣٠ قدما مثبتة في أنفاق مدعمة بالخرسانة، وترى التوربينات الهيدروليكية الرأسية تدور بقوة الماء المندفع الذي يمرق إليها عن طريق برابخ أو بوابات تنظيم المرور. وعندما تدفع المياه الساقطة الريش المنحنية للتوربين، يدور على الفور فيمد المولد الكهربائي بالقوة اللازمة. وأكبر هذه التوربينات يمكن أن يولد قوة ١٤٥ ألف حصان. وتدور التوربينات بلا انقطاع بينما يزأر النهر كأنه التنين المحبوس وتنطلق الملايين من الطاقة الكهربائية وترسل لتضئ أنوار هيوليوود. ومحطة توليد الكهرباء مقامة على عشرة أفدنة في جناحين على جانبي النهر، مع بناء يصل بينهما فيتم شكل U في قطاع السد. ويشغل هذا البناء المكاتب والورش ومصانع الصيانة مع محطة توليد الكهرباء ولا يستخدم في توليد الطاقة الكهربائية إلا جزء من مياه النهر. أما الماء الزائد عن حاجة المحطة فيسمح له بالمرور خلال منافذ في أعلى المحطة ويتطاير في الهواء مسافة ٢٠٠ قدم من نافورات سمكها ثماني بوصات. وعلى طول النهر تمتد قناتان لتصريف الفائض طول كل منهما ٦٥٠ قدما وعرضها ١٥٠ قدما. والغرض منهما التحكم في الفيضان. وعندما تجئ المياه العالية تقتنصها هاتان القناتان وتقذفان بها وراء السد خلال الممرات الجانبية المتخلفة من أيام عملية البناء. وهكذا، فإن مياه الفيضان تمرق دون خطر الارتطام على قمة الخزان. وعندما يكون من المتوقع أن تأتي الفيضانات شديدة عنيفة، يمكن اتخاذ

خطوة أخرى من خطوات التحكم في الفيضان بتصريف جزء من مياه بحيرة "ميد"، إذ تزاد كمية الماء المنصرفة في النهر فيما وراء السد، فينخفض مستوى الخزان انتظارا للدفعات الجديدة من مياه الفيضان وقد كان هذا إجراء ضروريا عام ١٩٥٢ عندما ذابت ثلوج الربيع الضخمة، وفاض فيها نهر الكولورادو فيضانا شديدا سريعا. ولمواجهة هذا القدر الزائد من المياه زيد من الطاقة الكهربائية المولدة عند السد، باستخدام قدر من مياه بحيرة "ميد" أكبر من المعتاد، وبذا انخفض مستوى الماء من الخزان. وتقبل الخزان الذي أفرغ جزء منه، مياه الفيضان دون صعوبة، فخفض من سرعة اندفاع الماء من ١٢٢ ألف قدم مكعبة في الدقيقة إلى ٣١ ألف قدم فقط.

كذلك، فإن وادي أمبيريال محصن بسلسلة كاملة من السدود فيما بعد سد هوفر. وهذا يضمن قدرا من الأمان للإقليم ضد أخطار الفيضانات التي مكن تصورها. وأول هذه السلسلة من السدود هو سد ديفز ويبعد ٦٧ ميلا وراء سد هوفر في بيراميد كانيون. وقد بنى سد ديفز سنة ٩، ١٩ ويكون خزانا يسمى بحيرة موهيف وتحتجز ١,٨٠٠,٠٠٠ فدان قدم من الماء. وخلال موسم الفيضان يمكن خفض مستوى الخزان بمعدل ٢٠٠,٠٠٠ فدان قدم، وبذا يفسح المجال للمياه الفائضة التي يطلقها سد هوفر وراءه في النهر وهناك بعد ذلك على طول مجرى النهر سد باركر المقام سنة ١٩٣٨، وتقوم شهرته على أساس لا يتضح للعيان

بسهولة. فهو لا يرفع سوى ٨٥ قدما فوق قاع النهر، ولذا فإنه يبدو عاديا جدا لكنه يستمر في ارتفاعه ٢٣٥ قدما أخرى في جوف النهر، فيكون مجموع ارتفاعه ٣٢٠ قدما. والجزء المغمور منه في الماء أعمق من أي سد آخر في العالم.

ولسد باركر هدفان رئيسيان: أولهما التحكم في الفيضان في الأوقات التي يكون فيها سد هوفر ثم سد ديفز قد استنفذا طاقتيهما في التخزين. وكذلك، فإن سد باركر يستخدم لتوفير مياه الشرب لمدن كاليفورنيا الجنوبية. وبعد أن تنساب المياه من سد هوفر، تغترف قدرا كبيرا من الطمي والرواسب، يحتجز قسم كبير منه عند سد ديفز لكن ما يتبقى يحمله الماء ويضيف إليه المزيد في الطريق. ولسد باركر خزان سعته ٧١٦ ألف فدان قدم ويسمى بحيرة هافاسو، ويستخدم كحوض للترسيب حيث يتخلف الطمي مرة أخرى وتنزح المياه الخالية من الطمي بالمضخات وتنقل إلى محطات المياه في مدن كاليفورنيا الجنوبية ثم هناك سد آخر في هذه السلسلة المعقدة على الجزء السفلي من الكولورادو، وهو سد إمبيريال وقد بنى سنة ١٩٣٨ هو الآخر. ويبلغ ارتفاعه ٤٦ قدما ويجمع الكولورادو إلى وادي جيلا وقنوات الري الأمريكية الخالصة.

وسد إمبيريال معد بأجهزة لتنقية المياه من الرواسب وفصل الطمي عنها قبل أن تنساب إلى الحقول. وقبل ذلك كانت عملية تطهير قناتي

الري من الرواسب تكالف أكثر من مليون دولار في السنة، ولذلك، فإن سد إمبيريال يوفر قدرا كبيرا من المال كان ينفق في هذه العملية وأمام الخزان توجد مصفاة طولها ٢٠٠ ياردة تحتجز الرواسب الثقيلة التي يجرفها الماء بعد مغادرته فتحات سد باركر. وبعد ذلك تمر المياه، وهي لا زالت محملة بالطمي الناعم، خلال بوابات إلى أحواض تفصل الطمي عن الماء. وهنا تقوم كاسحات طولها ١٢٥ قدما يجرف الطين ودفعه إلى خندق حيث تمتصه أنابيب وتنقله إلى ما وراء السد في مجرى النهر. وفي نفي الوقت تحول المياه الخالية من الرواسب إلى القناتين، بمعدل ٢٠٠٠ قدم مكعبة في الثانية، إلى قناة جيلا الرئيسية التي تؤدي إلى مزارع أريزونا، ثم بمعدل يبلغ ثمانية أضعاف ذلك، إلى القناة الأمريكية الصرفة بالكاليفورنيا.

وهكذا، يتضح أن عملية التحكم في نهر مثل الكولورادو لا يمكن أن تكتمل بمجرد إقامة سد واحد، حتى لو كان في ضخامة سد هوفر، بل لابد من سلسلة من السدود، كل منها يؤدي دوره المرسوم في الخطة الشاملة للتحكم في النهر وهذا هو المقصود بنظام السدود الأمامية والخلفية. فالسد الأمامي سد يقام أمام سد كبير أساسي، والسد الخلفي سد يقع فيما وراء السد الكبير، ولسد هوفر ثلاثة سدود خلفية، هي سد ديفز، وسد باركر، وسد أمبيريال. وهي تعمل كفريق رباعي لتوفير الطاقة الكهربائية والماء، وللتحكم في الفيضان من أجل الحوض السفلي

للكولورادو. وسد هوفر يؤدي المهمة الكبرى في حجز ماء النهر. أما السدود الخلفية فلها نصيبها في التحكم في الفيضان وتوليد الكهرباء، كما تؤدي دورها في ري الأرض وإزالة الطمي وحتى بالرغم من أداء هذا الطاقم من السدود وظيفته، فإن نهر الكولورادو لم يكن يحقق المزايا التي كان يصح أن يحققها. فقد بقي الحوض العلوي هائجا مضطربا، لا يجود بخير للإنسان اللهم إلا جماله الخلاب. لذلك تقرر إقامة مجموعة أخرى من السدود في الحوض العلوي، مركزها سد أساسي في ضخامة سد هوفر تقريبا، هو سد جلين كانيون.

استئناس تنيستي

بينما كانت أعمال البناء في سد هوفر تقوم على قدم وساق في أقصى الغرب اتجهت الأنظار نحو الشرق، إلى وادي نهر تنيسي حيث دعا الرئيس روزفلت إلى بناء سلسلة هائلة من السدود ومحطات توليد الكهرباء. وظهرت في الوجود "هيئة وادي تنيسي" وقد قامت هذه الهيئة في الجبل الماضي شبكة من السدود والمنشآت المتصلة بها مما يخلب الألباب. فمنذ بناء أهرام مصر لم يشهد العالم مثل هذا الجهد الضخم الموحد في عملية بناء مترابطة.

وصناعة السفن على النهر قد زاد نشاطها سبعين ضعفا عما كانت عليه سنة ١٩٣٣. وأصبح خطر الفيضان اليوم ذكرى يكاد ينساها الناس. وقد تحولت الأرض الجدباء الجرداء إلى مزارع خصبة. والحياة في وادي تنيسي اليوم تختلف كثيرا عما كانت عليه من قبل بفضل السدود، ولقد كان نهر تنيسي "عملاقا كسولا مدمرا" وتغذيه خمس روافد جبلية وتنساب مع بعضها البعض بالقرب من نوكسفيل بتنيسي مكونة الجسم الرئيسي للنهر، الذي يمتد بعد ذلك على شكل هلال كبير يتحرك غربا هابطا صوب الجنوب مارا بالأبلشيان عبر الثلث العلوي من ألباما، ثم منحنيا شمالا مرة أخرى عبر غرب تنيسي وحقول كنتوكي المنبسطة، ليصب مياهه في نهر أوهيو الذي يوصلها إلى الميسيسيبي ومنه إلى خليج المكسيك.

وهلال تنيسي المنحني يجري قرابة ٦٥٠ ميلا من منبعه بقرب نوكسفيل إلى أن يلتقي بأوهيو في موقع لا يبعد كثيرا عن بادوكا بكنتوكي. ويمر النهر هو أو أحد روافد بسبع ولايات جنوبية. وبذا يكون جزءا من منطقة تصريف وادي تنيسي وهي المشارف الغربية لفرجينيا، وكارولينا الشمالية، والقطاع الشمالي من جورجيا، وألباما، والمسيسيبي، والنصف الغربي من كنتوكي، إلى جانب ولاية تنيسي كلها، ويضم وادي تنيسي مناطق جغرافية متناقضة، من جبال جريت سموكيز العالية المغطاة بالغابات في الشرق إلى سهول كنتوكي الواسعة المنبسطة في الغرب. وتبلغ مساحة الوادي نحو مساحة انجلترا واسكتلندا معا، وكانت على الدوام منطقة نامية حتى قبل بناء السدود بها، فقد بلغ تعداد سكان ولاية تنيسي ٣٥,٦٩١ نسمة ثم نحو مليون نسمة سنة ١٨٥٠، ومليوني نسمة سنة ١٩٠٠، و٣,٥ مليون نسمة سنة ١٩٦٠. ويتخذ النهر بمثابة الطريق الرئيسي من مدينة إلى أخرى، مع ممرات تؤدي إليه كأنها مفترق طرق مؤدية إلى التلال والسهول على أنه كان هناك عائق ضخم إلى جوانب عدة عوائق تدخلت في تطوير وادي تنيسي تطويلا سليما. كان العائق الكبير جزءا من النهر طوله ٣٧ ميلا في ألباما ينخفض ١٣٤ قدما في مسافة قصيرة نسبيا، تحتوي على شلالات ومستنقعات وصخور ناتئة، مما يجعل هذه المنطقة المعروفة باسم "موسل شولز" غير صالحة للملاحة. ومنذ عام ١٨٢٤ كانت الحكومة الاتحادية توصي بشق قناة حول هذه المنطقة الضحله لتيسير الملاحة. وأقامت ولاية ألباما هذه القناة وبها ١٧ هويسا وافتتحتها عام

١٨٣٤. وبعد ذلك تحملت الحكومة الاتحادية نفقات توسيع القناة. وبالرغم من ذلك، فإن القناة لم تكن صالحة دائما للملاحة. ومعظم الأموال التي أنفقت في مختلف مشروعات بناء القناة كانت تضيع سدى. إذ كان من غير الممكن عمليا تيسير الملاحة على طول النهر، أو حتى في أي جزء منه يمتد إلى أحد المشارف.

وذكر المهندسون أن بناء سد عند موسل شولز سيحل هذا الموقف، فلا تعود الصخور المدببة الأطراف تعوق السفن، ولا تعود الفيضانات الشديدة تحيل النهر إلى وحش غاضب. وتعاقدت إحدى الشركات الخاصة على بناء سد عند موسل شولز عام ١٨٩٩، لكن المشروع لم يتجاوز على أيديها مرحلة الرسوم والتصميمات. وفي سنة ١٩٠٦ طلبت شركة أخرى إلى الحكومة أن تساهم في بناء سد هناك، لكن الرئيس تيدور روزفلت رأى أن إنفاق أموال الدولة لصالح شركة خاصة لا يفيد وبقى مشروع موسل شولز معطلا إلى أن نشبت الحرب العالمية الأولى، ووجدت الولايات المتحدة نفسها فجأة في حاجة إلى مورد يعتمد عليه للنترات لاستخدامها في صنع المفرقعات. وكانت صناعة النترات تتطلب في ذلك الوقت استخدام قدر كبير من الطاقة الكهربائية. ولقد خول قانون الدفاع الوطني لعام ١٩١٦ الرئيس الأمريكي سلطة بناء السدود والأهوسة ومحطات الكهرباء، وغير ذلك مما يلزم لتوليد الطاقة التي تستخدم في إنتاج النترات. وقد نص القانون

على أن تتولى الحكومة وحدها إنتاج النترات وإدارة محطات الكهرباء لهذا الغرض ودرس مهندسو الجيش البقعة واختاروا موقعا لتوليد الكهرباء وتحسين الملاحة معا ويتضمن المشروع بناء ثلاثة سدود، سد كبير واثنين أصغر منه. وأقيم مصنعان للنترات لكنهما لم يسهما كثيرا في المجهود الحربي، فقد فشل الأول منذ البداية بينما كان الثاني تنقصه الكفاءة بشكل مؤسف. وانتهت الحرب قبل أن يتيسر إتمام أي شئ في عملية بناء السدود المقترحة بمنطقة موسل شولز. وفي نوفمبر سنة ١٩١٧ خصصت الاعتمادات الأولى لبناء السد الكبير الذي يطلق عليه الآن سد ويلسون. وما جاء عام ١٩٢١ حتى فرغ المال ولم يكد ينتهي من العملية إلا ثلثها. ومر عام قبل أن يعتمد الكونجرس مبلغا آخر. وتم سد ويلسون أخيرا في سبتمبر سنة ١٩٢٥ بتكاليف نهائية قدرها ٣٧ مليون دولار. وله ثماني وحدات كهربائية تولد طاقة قدرها ١٨٤ ألف كيلوات مع وجود أمكنة لتركيب عشر وحدات أخرى.

وكان يطلق على سد ويلسون "سد رقم ٢" في مشروع الثلاث سنوات الذي وضعه مهندسو الجيش لبناء السدود، أما السد "رقم ١" فهو سد ملاحي صغير أمام سد ويلسون وقد تم سنة ١٩٢٦. "والسد رقم ٣" في أعلى النهر هو الآخر وهو يكمل السدين الأخريين، وقد بقى حبيس لوحات الرسم إلى أن جاءت هيئة وادي تنيسي، فآن له أن يتم أخيرا ويسمى سد هويلر وبعد إتمام سد هويلر بقى مشروع موسل شولز

معطلا. وعرض ملك صناعة السيارات هنري فورد شراء مصانع النترات وتحويلها إلى مصانع مخصبات أو أسمدة كيماوية، لكن الكونجرس رفض قبول العرض. كذلك فشلت مشروعات تحويل مصانع النترات إلى القطاع الخاص ومشكلة الإنتاج الكهربائي لسد ويلسون تقوم على طبيعة النهر نفسه. ففي شهور الصيف الجافة كان تيار الماء في نهر تنيسي يتضاءل، الأمر الذي يحد كثيرا من كفاءة محطة توليد الكهرباء. وكان "السد رقم ٣" الذي رأى مهندسو الجيش إقامته في أعالي النهر، كفيلا باحتجاز مياه فيضان الربيع في خزان وإطلاقها لإدارة التربينات في شهور الجفاف. "لكن السد رقم ٣" بقى دون بناء، بينما راح الكونجرس يجادل أموره. وكانت الطاقة الكهربائية التي يولدها سد ويلسون تبيعها الحكومة لشركة ألباما الكهربائية، وهي عميلها الوحيد في ذلك الوقت. وبينما ظلت المناقشات المملة تدور حول ما يجب صنعه بموسل شولز، ظل نهر تنيسي يسلك نفس السلوك الذي اعتاده دائما، إذ اجتاحت الفيضانات المدمرة وادي تنيسي في أعوام ١٩١٧ و١٩٢٦ و١٩٢٧، فشردت مئات الآلاف وأهلكت الحرث والنسل، وتأثر اقتصاد الإقليم بصورة تدعو إلى اليأس. وتضاءل بناء السفن كصناعة محلية، ودب الشلل في الزراعة بفعل الفيضانات. وعاش المزارعون بدون كهرباء لأنه لم تكن هناك محطات تولدها. وتقرر أن تضطلع هذه الهيئة بمشروعات موسل شولز وتعمل على تكملة "السد رقم ٣" أو سد هويلر. كما تبنى كل ما تراه لازما لتنمية وادي تنيسي برمته، وخولت سلطة بيع الفائض من

الطاقة الكهربائية "للولايات والمقاطعات والبلديات والمؤسسات والشركات والأفراد".

وكانت أهداف هيئة وادي تنيسي كما نص عليها القانون هي:-

١- أقصى حد ممكن من التحكم في الفيضان

٢- أقصى تطوير لنهر تنيسي لأغراض الملاحة.

٣- توليد أقصى طاقة كهربائية ممكنة بما يتناسق مع التحكم في الفيضان والملاحة.

٤- الاستخدام الصحيح للأراضي.

٥- استخدام الطرق السليمة لإعادة التشجير، أي غرس الأشجار في جميع الأراضي التي تصلح لهذا الغرض في حوض هذا النهر.

٦- تحقيق الرفاهية الاقتصادية والاجتماعية للسكان في حوض هذا النهر.

وكان سكان هذا الحوض في حاجة ماسة لبعض الرعاية لشئونهم الاقتصادية والاجتماعية. ففي بعض المقاطعات كانت الأسر التي تعيش على المعونة العامة تبلغ نسبتها ٨٧% من السكان، وكان الموت جوعا شيئا مألوفا. وبلغت مساحة الأرض التي جردها الفيضان من خصبها، ثلث مجموع مساحة أراضي الوادي البالغة ٢٦ مليون فدان. وفي مقاطعة جفرسون بشرق تنيسي، "تجردت ٣٥% من الأراضي المنزرعة من أكثر

من نصف تربتها الخصبة التي جرفها الماء، كما فقدت ٤٢,٤ أكثر من ثلثي تربتها الخصبة، كما أصبحت ٢,٩% منها أرضا يبابا". وقد تسببت الفيضانات في خسارة سنوية قدرها في المتوسط مليونا دولار طوال فترة امتدت أكثر مما يجب أحد أن يذكر. وفي كل مائة مزرعة لم تكن تتيسر الكهرباء إلا في اثنتين. ونظرا لفقر الإقليم لم يتيسر المال اللازم لبناء مساكن لائقة أو مدارس كافية أو طرق ممهدة أما شباب الوادي ممن لم يرضوا بحالهم، فكانوا يهاجرون إلى أجزاء أخرى من البلاد. ولم يكن يتخلف عن الهجرة إلا من هبطت همته وخارت عزيمته بينما كانت قوى الماء والتربة الخصبة تمرق مندفعة خلال مجرى النهر متجهة إلى أوهيو.

مزيد من السدود

كانت السدود ومزيد من السدود هي رد "هيئة وادي تنيسي" على التحدي. وكان أولها سد نوريس، وقد سمي باسم عضو الشيوخ العظيم عن نبراسكا الذي قاد الحملة من أجل فكرة هيئة وادي تنيسي طوال عشر سنوات أو أكثر. وبدأ البناء في أول أكتوبر سنة ١٩٣٣ وانتهى في ٢٨ يولية سنة ١٩٣٦. ويبلغ ارتفاع سد نوريس ٢٦٥ قدما وطوله ١٨٦٠ قدما ويولد ١٠٠,٨٠٠ كيلو واط من الكهرباء.

وكما حدث عند بناء سد هوفر أقيمت مدينة من العدم لإسكان عمال سد نوريس. وفي غضون شهر واحد وضعت خطة كل من نوريس وتنيسي. وشيدت المدينة على بعد ثلاثة أميال من موقع السد و٢٥ ميلا

من نوكسفيل. وكانت المدينة نفسها تجربة في تخطيط المدن الحديثة التي تتخللها الطرق والشوارع الظليلة والحدائق والبيوت المقامة وراء الشوارع على زوايا أختيرت بدقة للاستفادة بأقصى حد مناسب من الشمس والهواء والمناظر الطبيعية. وكانت الحكومة تمتلك المدينة حتى عام ١٩٤٨، ولكنها أصبحت الآن ملكا لسكانها، وهي من أجمل مدن تنيسي.وكان مهندسو الجيش قد سبقت لهم دراسة موقع السد عند خور " كوف " بتنيسي على نهر كلينش، وهو أحد روافد نهر تنيسي الرئيسية الخمسة. وقد اضطلعت الآن هيئة وادي تنيسي بهذه المشروعات السابقة لسد خور كوف. ورأت الهيئة أن يكون السد من طرا البنيان الصلد المصمت (الذي يقوم فيه مجرد ثقل الخرسانة بالصمود للماء وحجزه) وأخذت تقوم بالاختبارات والتخطيط اللازم. وبدأ العمل في مسح ودراسة منطقة الخزان وتجربة عمليات الحفر للتأكد من قدرة الصخر المحيط بموقع السد على احتمال ثقله. كذلك، أجريت دراسات للزلازل والهزات الأرضية ثم اشترت الهيئة آلاف الأفدنة في المنطقة. وكان لابد من تهجير كل أسرة تقطن في منطقة الخزان. كذلك، كان لابد من رفع الأسلاك الكهربائية وخطوط التليفون وأشرطة السكك الحديدية وشون الحاصلات الزراعية، بل حتى مدافن الموتى ونقلها جميعا إلى الوراء، بعيدا عن متناول منسوب الماء الجديد. وكان لابد من تطهير منطقة الخزان من كل شجرة فيه، وإلا جرف التيار الأشجار الغارقة على مر السنين على وجه يعوق الملاحة ويهدد سلامة السد.

وبدأ العمل على الضفة الشرقية من نهر كلنش، حيث كانت الأرض تنحدر تدريجيا بعيدا عن الماء، الأمر الذي حتم امتداد الخزان مسافة أطول من نظيرتها على الضفة الغربية. وأجريت عمليات الحفر الأولى الهامة في المكان الذي سيرتكن فيه كتف السد على الدعامة الصخرية. واستخدم الركام المحفور من التل لتقوية السد الأمامي لحجز الماء أمامه وأقيم سد أمامي ثان على الجانب الغربي تكملة للأول. وتركت بينهما فجوة ضيقة مر خلالها ماء النهر الذي امتص بالمضخات. وبدأت عملية الحفر في الجزء الجاف من القاع. وكانت الضفتان الشرقية والغربية متآكلتين عطنتين تتخللهما الكهوف. وكان لابد من تبطينها بالأسمنت لمنع تسرب الماء، واستخدم الديناميت والمجارف البخارية لتشكيل جوف النهر الصخري بالشكل المطلوب للسد الكبير، ثم نظف الأساس أخيرا تنظيفا يضمن التصاق خرسانة السد فإحكام عندما تصب.

واستخدم محجر على الجانب الغربي من السد كمورد لكتل الحجر المطلوبة للسد، نحتت من الجبل بطريقة ينجم عنها مرفأ طبيعي للمراكب يستخدمه سكان المنطقة في المستقبل. وطحنت الأحجار المنحوتة من التل وأضيف إليها رمل الحجر الجيري ثم الأسمنت والماء، وصنع إطار الخزان من قوالب الخشب، ثم سرعان ما صبت الخرسانة وارتفع جسم السد فيما بين الضفتين باستثناء الفجوة الضيقة التي ظل النهر يسيل خلالها.وعندما ارتفع جسم السد الغير الكامل فوق مستوى

النهر، أقيم سد أمامي ثالث منبثقا من الأرض الجافة داخل السدين الأماميين الأولين. ورغم أن لهما جوانب من الخشب، فقد صبت جوانب ثالثهما بالخرسانة. وعندما تم ذلك، حول النهر خلال الأقسام الكاملة من السد مارا خلال بوابات انزلاق ثم بدأ العمل لسد الفجوة والخرسانة تنكمش عندما تجف. وقد أدخل بناة السد هذا في اعتبارهم فأعدوا وصلات تقلص كل ٥٦ قدما. وعندما جفت الكتل الخرسانية ملئت. الوصلات بالملاط حتى يحصن السد من تسرب الماء. وبدأت عملية بناء محطة الكهرباء على الضفة الشرقية من النهر بمجرد صب الخرسانة على القاعدة الصخرية لموقع المحطة الكهربائية. وقد شكلت القنوات التي تجلب الماء خلال السد إلى التوربينات على هيئة بربخين مبطنين بالصلب قطر كل منها ٢٠ قدما، ووضعا مائلين بدرجة ١٢ ليتدفق الماء منهما إلى حدافات التوربينات، وزودت المحطة بأنابيب لتنقل الماء خلف التوربينات وراء السد إلى مجرى النهر مرة أخرى.

وقد أعدت فتحات المفيض التي يسيل منها الجزء الأكبر من الماء عند بداية عملية البناء، حتى يمكن استخدام بوابات المغيض لتحويل النهر في المراحل الأخيرة من إنشاء السد. ولا يمر ماء النهر حقيقة فوق قمة مفيض السد إلا في أوقات ارتفاع منسوب المياه إرتفاعا كبيرا. أما المعتاد، فإن الماء يمر خلال بوابات المفيض بقرب قاعدة السد. وكما يحدث في أي سد تكون دعائمه عالية بشكل كاف، صبت خرسانة سد

نوريس بالنظام المألوف. وقد أقيم برجان عند طرفي السد وإمتدت بين هذين البرجين، على طول مسافة قدرها ٢٠٠٠ قدم تقريبا أسلاك الصلب القوية الضخمة. وكان البرجان من النوع المتحرك الذي ينزلق على قضبان إلى الداخل أو الخارج من جوف النهر. وكان البرجان من النوع المتحرك الذي ينزلق على قضبان إلى الداخل أو الخارج من جوف النهر. وكانت المهمات الثقيلة مثل قضبان الخرسانة الضخمة أو بوابات العيون أو أي شئ تحتاجه عملية البناء تنقل بسيارات النقل إلى البرج الغربي، حيث تمسك بها خطاطيف ضخمة من الصلب وتؤرجحها فوق الهوة وتنزلها الموضع المطلوب.

وتمت اللمسات الأخيرة على السد الكبير في أوائل سنة ١٩٣٦، وفي مايو من هذا العالم أغلقت البوابات ليبدأ الخزان في الإمتلاء. وبعد ذلك بشهرين كانت المولدات الكهربائية تنتج الطاقة المطلوبة لوادي تنيسي، وبذا تم أول السدود التي أقامتها هيئة وادي تنيسي، وتبلغ الآن قرابة ثلاثين سدا. وعملت الهيئة على تطوير الخزان أو بحيرة نوريس وإعداده كمنطقة سياحية تحف بها الحدائق العامة، ويؤمها سنويا أكثر من مائة ألف زائر للإستمتاع بمباهجها. وأشرفت الهيئة على سد ويلسون القديم الذي كان قد تم بناؤه سنة ١٩٢٥ ورأت أن تزيد من كفاءته ببناء "السد رقم ٣" – وهكذا، فإنه بعد بدء العمل في سد نوريس بشهر واحد، كان مهندسو الهيئة يضطلعون بالعمل في سد هويلر الذي يقع

على النهر قبل سد ويلسون في منطقة موسل شولز. ويعتبر سد هويلر أقل سدود النهر الرئيسي ارتفاعا، إذ لا يتجاوز ٧٢ قدما. وبدأ العمل في بنائه في نوفمبر سنة ١٩٣٣ على أساس خطط سبق إعدادها بمعرفة مهندسي الجيش ومكتب الإصلاح الزراعي. ويمتد طوله ٦٣٤٢ قدما عبر النهر ويولد طاقة كهربائية قدرها ٤/١ مليون كيلو واط وتكلف بناؤه ٤٨ مليون دولار وجزء من السد مشيد بالخرسانة لكن قرب هويس الملاحة يتكون جسم السد من خليط من الخرسانة ودعائم من جمالونات الصلب.

وبعد عام ونصف أقيم مع سد هويلر سد بيكويك لاندنج، ويبعد ٥٢ ميلا وراء سد ويلسون وقد أكمل هذا السد عملية تعميق الماء في منطقة شولز من مجرى النهر شمالي ألباما، وبذا قضى على أخطار الشلالات والصخور والمختبئة والدوامات المائية. ويبلغ ارتفاع سد بيكويك لاندنج ١١٣ قدما وطوله ٧٧١٥ قدما وبلغت تكاليف ٤٧ مليون دولار، وتم بناؤه سنة ١٩٣٨ ويولد طاقة كهربائية قدرها ٢١٦ ألف كيلو واط. وكما هو الحال في كثير من سدود وادي نهر تنيسي، يعتبر بيكويك لاندنج مكانا عاما للترويح والنزهة، وقد أنشئت مدينة في موضع معسكر البناء. وسد بكويك من الطراز الخليط، فإن محطته الكهربائية وفتحات الماء وأهوسته مصنوعة من الخرسانة والصلب بينما يتكون باقي جسم السد، وطوله ميل، من التراب والصخر.

وكان رابع السدود التي أقامتها وادي تنيسي سد جنترزفيل، في ألباما أيضا، وقد بدأ سنة ١٩٣٥ وانتهى سنة ١٩٣٩. وهو مثل بكويك لاندنج وكثير من سدود النهر الرئيسي الأخرى من التراب والصخر، ولم يصنع من الخرسانة والصلب منه، إلا محطة الكهرباء وقناة الفائض والهويس. ولو حدث أن بلغت مياه الفيضان قمة الرصيف الترابي، لاكتسحت السد في ساعات قليلة – لكن نظام تصريف تصريف الفائض قد صمم بطريقة لا يمكن معها أن تصل مياه أي فيضان يمكن تصوره قمة الأرصفة. وأقصى ارتفاع لجنترزفيل هو ٩٤ قدما ويبلغ طوله ٣٩٧٩ قدما. وبلغت تكاليفه ٣٩ مليون دولار ويولد ٩٧٢٠٠ كيلو واط من الطاقة الكهربائية. وقد غير هذا السد مدينة "جنترزفيل" تغييرا شاملا، فمنذ نحو ثلاثين سنة، كانت جنترزفيل قرية نهرية صغيرة ليس لها شأن يذكر. ثم نمت وأصبحت ميناء هامة بعد توسيع وتعميق النهر على يد هيئة وادي تنيسي، وزادت حركة التجارة النهرية مائة مرة.

وبعد البدء في جنترزفيل بشهر واحد – وتقع في أقصى جنوب تنيسي بدأ العمل في سد تشيكاموجا في أقصى الجنوب قبل مدينة تشاتانوجا بتنيسي، التي قاست من الفيضانات أكثر من أية أخرى على طول النهر. فقد اجتاحها الفيضان تسع عشرة بين سنة ١٩١٠ و١٩٣٠، وكانت الخسائر فادحة في ثلاثة منها، كما كانت غير قليلة في كثير منها. وقد صمم سد تشيكاجا الذي يبلغ طوله ميلا وارتفاعه ١٢٩

قدما، لا لمجرد توليد الكهرباء بل لحماية مدينة تشاتانوجا من أخطار الفيضان. وقد حول مجرى جدول ماء ليصب في النهر أسفل السد بدلا من أعلاه، وتكون خزان يجمع مياه الفيضان. وقد وضحت فائدة سد تشيكاموجا بمدينة تشاتانوجا في يناير سنة ١٩٥٧، عندما تضخم نهر تنيسي بماء الفيضان وارتفع منسوبه أربعا وعشرين قدما فوق معدل الفيضان. ولولا السد لاكتسحت مياه الفيضان المدينة ولسببت خسائر قيمتها ٧٥ مليون دولار. وبدلا من ذلك، فإن ذلك الفيضان، وهو ثاني فيضان من حيث ضخامته في تاريخ المدينة، لم يسبب إلا خسائر طفيفة. وقاربت عملية ترويض نهر تنيسي الإنتهاء ببناء سد تشيكاموجا الذي تم في مارس سنة ١٩٤٠. وأصبح الجزء الرئيسي من النهر صالحا للملاحة، كما ولدت الكهرباء لسد حاجة الأهالي والصناعة في الوادي. ولكي تختم هيئة وادي تنيسي العملية بصورة مناسبة، ابتاعت في سنة ١٩٣٩ سد هيلزبار القديم المتهالك، الذي كان قد بني بين عامي ١٩٠٥ إلى ١٩١٣، وأدخلت عليه من التعديلات والإمتدادات ما جعله في مستوى السدود الحديثة التي تلبي مطالب الملاحة والطاقة الكهربائية معا.

وهذه السدود السته: تشيكاموجا، وهيلزبار، وجنترزفيل، وهويلر، وولسون، وبكويك لاندنج – قد خلقت وادي تنيسي خلقا جديدا إبتداء من تشاتانوجا إلى شمالي ألباما. وقد بدأ العمل الآن لإمتداد سيطرة

الإنسان على طول النهر من نوكسفيل إلى موضع ألتقائه بأوهيو. وجاءت هذه المرحلة الجديدة من مهمة هيئة وادي تنيسي في ١١ يولية سنة ١٩٣٩ ببناء سد كنتوكي، وهو أكبر سد تبنيه الهيئة ويبلغ طوله ٨٤٢٢ قدما وارتفاعه ٢٠٦ قدم، وكون أمامه خزانا طوله ١٨٤ ميلا هو بحيرة كنتوكي، وتبلغ سعته قرابة ضعف بحيرة نوريس، وإن لم تتجاوز خمس سعة بحيرة ميد. وهناك طريق بري كبير عليه شريط سكة جديد على طول قمة سكة كنتوكي. ويقع هذا السد بالقرب من مصب نهر تنيسي قبل بادوكا بعشرين ميلا. وييسر الملاحة من نهر أوهيو إلى تنيسي لبضع مئات من الأميال. ولعلك تتعجب، كيف يمكن للسفن أن تسير في النهر أصلا طالما أن السد يعترضه. ويحل هذا الموقف الأهوسة، وهي في واقع الأمر مصاعد ترفع السفن التي تشق طريقها في النهر، وسوف نعرض لموضوع الأهوسة بالتفصيل في الفصل الذي نتناول فيه ممر سنت لورنس البحري. ولما كان لابد من أن يسمح سد كنتوكي بعبور الصنادل الكبير القادمة من نهر أوهيو، فإن هويه ضخم بشكل عادي. والسد نفسه مقام على طراز سد جنترزفيل وغيره – أي من الصلب والخرسانة لمنطقة الهويس وقناة تصريف الفائض ومحطة الكهرباء، والباقي من التراب والأحجار. ويبلغ حجم جسم سد كنتوكي ٧ مليون ياردة مكعبة من الخرسانة والتراب والأحجار. وبقيت مهمة بناء سدين آخرين لجعل نهر تنيسي صالحا للملاحة من نهر أوهيو إلى نوكسفيل. وكان أولهما سد واطس بار، وقد بدأ العمل فيه في نفس الشهر الذي بدأ فيه بناء سد

كنتوكي أي يولية سنة ١٩٣٩، وأنتهى في فبراير سنة ١٩٤٢. وكان سد واطس بار الذي يقع في منتصف الطريق بين تشاتانوجا ونوكسفيل قد صمم أساسا لتشغيل ثلاثة مولدات فقط. ولكن عندما تجمعت سحب الحرب العالمية الثانية وهددت بالإندلاع، تقرر إستخدام خمسة مولدات بدلا من ثلاثة. ووضع برنامج للعمل السريع في بناء سد واطس بار، فنم تشغيله بعد بدء الحربي بثلاثة أشهر فقط، فوفر الطاقة الكهربائية التي كان المجهود الحربي في حاجة ماسة إليها.

وكان آخر سدود نهر تنيسي الحقيقية سد فورت لاودون، وقد بدأ العمل فيه في يولية سنة ١٩٤٠، وثم بعد ثلاث سنوات ونصف بتكاليف قدرها ٤٣ مليون دولا. وظل هذا السد الذي يقوم وراء نوكسفيل يفخر سنوات طويلة، بأن هويسه يرتفع ثمانية قدما عن أي هويس ملاحي في العالم. وقد تجاوز بعض الأهوسة الحديثة هذا الرقم القياسي، لكن الهويس نفسه يعتبر عملا رائعا في زمانه. وسد فورت لاودون، وطوله ٤١٩٠ قدما وارتفاعه ١٢٢ قدما. من أجمل وأرشق السدود التي بنتها هيئة وادي تنيسي جميعا. وكان مهندسو الهيئة عند تصميمه قد تمرسوا على أدق التفاصيل وألغوا المشاكل الخاصة ببناء السد على نهر تنيسي، الأمر الذي مكنهم من أن يمزجوا بين الفائدة العملية والمنظر الجذاب إلى أقصى حد. ولهذا السبب، فإن سد فورت لاودون القريب من مدينة لنوار بتنيسي يجتذب السياح، كما أن الرحلات المنتظمة إليه ميسورة للجميع.

وبإنتهاء العمل في بناء فورت لاودون، اكتملت عملية بناء سدود النهر الرئيسي وامتدت تسعة سدود نوكسفيل إلى بادوكا، سبعة منها قامت ببنائها جميعا هيئة وادي تنيسي. وقد أحالت هذه الدود التسعة وادي نهر تنيسي إلى أرض بحيرات، بحيرات كبيرة تنوف مساحتها الكلية على أكبر من نصف مساحة ولاية رود أيلند. وأصبح النهر صالحا لملاحة السفن الكبيرة، وتيسر لسكان الوادي الحصول على مورد لا حد له من القوة الكهربائية بأسعار التكلفة. كذلك أصبح في وسع تشاتانوجا وغيرها من العواصم والمدن أن تهدأ بالا لأول مرة في شهور الفيضان. لكن كان لازال هناك مجال كبير للعمل، فكان لابد بعد ذلك من بناء السدود على رافد نهر تنيسي، لإتمام السيطرة على نهر إلى ماوراء منبعه. كانت هذه السدود الأخيرة من طراز مختلف. فبينما كانت سدود النهر الرئيسي طويلة منخفضة، بفتحات تصريف للفائض وأهوسة من الخرسانة، وباقي المباني بالتراب والركام، كان لابد من أن تكون سدود الروافد أكثر ارتفاعا وأقل سمكا. كانت كلها من الخرسانة ولم تكن تحتاج إلى أهوسة، إذ لم تكن هناك ملاحة في هذه الأفرع.

وكان أول سدود الروافد هذه، هو في نفس الوقت أول سد تبنيه هيئة وادي تنيسي: وهو سد نوريس على نهر الكلينش. وبعد نوريس تحولت الأنظار إلى سدود النهر الرئيسي، ولذا فلم يبدأ العمل في سد الروافد التالي إلا بعد أكثر من أربع سنوات، في يولية عام ١٩٣٧ حين

بدأ بناء سد هيواسي الذي انتهى في مايو عام ١٩٤٠. وسد هيواسي هذا، شأنه شأن أغلب سدود الروافد، لم يكن الغرض الأساسي منه توليد الكهرباء بل تخزين مياه الفيضان. وخلال الشتاء يكون خزانه منخفضا لكن مستواه يرتفع طوال فصل الربيع ثم تفتح محابس مياهه المتحجزة لتغذي نهر تنيسي خلال شهور الصيف الجافة. وتقع هيواسي في كارولينا الشمالية، في إقليم تسقط عليه أمطار أغزر من أى جزء آخر في البلاد أللهم إلا مناطق شمالي غرب المحيط الهادي. ويبلغ طول السد ١٣٧٦ قدما، وارتفاعه ٣٠٧ أقدام – مقاييس تختلف بشكل بارز عن مقاييس سدود النهر الرئيسي. وكان لسد هيواسي مولد واحد فقط. ولكن في عام ١٩٥٦ ركب عليه مولد آخر. وهذا المولد الثاني طراز غير مألوف، مجهز بتوربين يدور عكسيا، بحيث يمكن نزح الماء ثانية إلى الخزان لتوفيره في الفترات التي تقل فيها الحاجة إلى الطاقة الكربائية لتستخدم عندما تشتد هذه الحاجة وكان سد الروافد التالي هو "شيروكي" الذي بدأ العمل فيه في أول أغسطس سنة ١٩٤٠، كانت أوربا مشتبكة في الحرب في ذلك الوقت، وبدأ أنه لا مفر من أن تدخل الولايات المتحدة المعمعة. واشتدت الحاجة إلى الطاقة الكهربائية لصنع المدافع والدبابات والطائرات. وطلبت وزارة الحرب من هيئة وادي تنيسي، أن تبذل غاية جهدها لزيادة طاقتها في توليد الكهرباء في الوادي، إذ تنبأ المسئولون بنشوء أزمة في القوى الكهربائية إذا دخلت أمريكا الحرب. وإستجابت هيئة وادي تنيسي لهذا الطلب ببناء جديد على نهر هولستون على بعد

أربعين ميلا فوق نوكسفل. وحددت لنفسها ٢١ شهرا لبناء السد وتشغله. ولكي يتمكن مصمموه من إنجاز العمل في الوقت الضيق، اقتبسوا بعض تصميمات أجزاء سدود الهيئة الأخرى. وتجميع هذه الأجزاء في سد جديد يناسب احتياجات نهر هولستون. وكانت نتيجة ذلك صد شيروكي، وهو أطول سدود الروافد، إذ يبلغ ٦٧٦٠ قدما، وبلغ ارتفاعه ١٧٥ قدما، وتم إنجازه في ستة عشرة شهرا، وهو رقم قياسي عالمي. وقد أغلقت بواباته قبل حادث بيرل هابر بيومين اثنين، وبدأ الماء يتجمع في الخزان. وفي إيريل سنة ١٩٤٢ وقبل الموعد المحدد بإسبوعين انسابت الطاقة الكهربائية من سد شيروكي إلى المصانع الحربية.

وهذا الرقم القياسي الذي سجل في بناء سد شيروكي لم يستمر طويلا، فقد اشتدت الحاجة إلى الطاقة الكهربائية، وإلى المزيد منها، بعد أن دخلت أمريكا الحرب. وتمت الموافقة على بناء سد آخر من سدود الروافد، على نهر فرنش برود في يناير سنة ١٩٤٢، وكان الكونجرس قد رفض اعتماد المبلغ اللازم لتنفيذ هذا المشروع سنة ١٩٤٠. لكن تغيير الظروف أيام الحرب جعلت صانعي القانون يغيرون قرارهم. وبدأت عملية البناء على سد الدوجلاس في الثاني من فبراير سنة ١٩٤٢، وانتهى العمل منه في ٢١ مارس سنة ١٩٤٣، أي في غضون ثلاثة عشر شهرا ونصف شهر. ولم يحدث من قبل أن أقيم مثل هذا السد الخرساني

الكبير في هذا الوقت القصير. وقد يظل هذا الرقم القياسي قائما لفترة طويلة وقد أمكن اختصار الوقت في بناء سد دوجلاس لأنه كاد أن يكون توأما لسد شيروكي الذي يبعد عنه عشرين ميلا وقد استخدمت في بناء نفس الرسوم والتصميمات مع تعديلات طفيفة، وكانت أجهزة البناء وطواقم العمال تنتقل للعمل من سد شيروكي إلى سد دوجلاس، إذ كانت عملية البناء تقوم على قدم وساق في كلا الموقعين في آن واحد وبينما كانت هذه العملية المزدوجة المضنية تتم في عجلة في أعالي بنهر تنيسي، كان ثمة أربعة سدود على الروافد ترتفع أبنيتها في حوض نهر هيولسي في كارولينا الشمالية والجزء السفلي من تنيسي وجورجيا. وقد صممت هذه السدود الأربعة لتتناسق مع أربعة سدود موجودة في الحوض، كانت قد بنيت قبل قيام هيئة وادي تنيسي، فاشترتها الهيئة من شركة كهربائية تنيسي أما السد الرابع فكان سد هيولسي الذي بنته الهيئة.

وقد بدأ العمل في السدود الجديدة الأربعة جميعا في يوم واحد، هو السابع عشر من يوليه سنة ١٩٤١. وقد أقيم سدا بلاتشيا، الذي تم في سبتمبر سنة ١٩٤٣ على بعد عشرة أميال بعد سد هيولسي. لكن محطته الكهربائية أقيمت بعده بثمانية أميال. وهذا الإنفصال الغريب يحقق أقصى طاقة من إنحدار قاع النهر إنحدارا سريعا، ويجري الماء في أنبوبة من الصلب قطرها ١٨ قدما عبر الجبال إلى المحطة، فيولد الكهرباء بقوة أكبر كثيرا مما لو أقيمت المحطة عند السد مباشرة أما سد تشاتوج الذي تم

بناؤه في سبعة أشهر، فهو السد الوحيد الذي بنته هيئة وادي تنيسي بدون خرسانة على الإطلاق. وهذا السد البسيط التكوين الذي يبلغ طوله ٢٨٥٠ قدما وارتفاعه ١٤٤ قدما مصنوع من التراب المحكم الدق ومدعم بواجهة أمامية عبارة عن طبقة من الأحجار الصغيرة، أو ما يسميه بناة السدود بالركام، وهذا النوع من السدود أرخص كثيرا في بنائه من السدود الخرسانية، ولكنها أقل فائدة ولا تصلح لكثير من المواقع. وقد أَضيفت محطة توليد الكهرباء لسد تشاتوج الأصلي سنة ١٩٥٤، قادرة على توليد طاقة قدرها عشرة آلاف كيلو واط.

وكان ثالث سدود حوض نهر هيواسي الذي أقيم سنة ١٩٤١ هو سد أو كوي رقم "٣"، الذي تم في إيريل سنة ١٩٤٣. وكما كان الحال في أبلاتشيا رؤى، أن أنسب موقع للسد ليس هو أنسب موقع لمحطة الكهرباء. ولذلك، فإن محطة سد أوكوى رقم "٣" أقيمت بعد السد بميلين ونصف. وهذا السد أشبه شئ "بالشبح"، فإن محطته الكهربائية وفتحات وتصريف الفائض به تدار من مكان بعيد، من السد القديم أوكوي رقم "٢" وهو مقام قبله على النهر، ولذلك، فإن السد أوكوى رقم "٣" لا يوجد به موظفون دائمون أو أنظمة لخدمة الزائرين وكان آخر سدود عام ١٩٤١ الأربعة هو سد نوتلي الذي تم بناؤه في سته أشهر فقط. وهو سد بسيط من التراب المهروس مثل تشاتوج – لكنه مدعم بأكتاف ثقيلة من الحجارة. ومحطة الكهرباء التي أضيقت إليه سنة

١٩٥٥ تولد **١٥٠٠٠** كيلو واط. ومن أشهر سدود هيئة وادي تنيسي سد فونتانا، وقد شرعت في بنائه في أول يناير **١٩٤٢** قبل أن يمضي شهر على هجوم بيرل هاربر، الذي دفع أمريكا إلى أتون الحرب العالمية الثانية. وهكذا، واجهت هيئة وادي تنيسي مشكلة جديدة في عملية البناء، وهي الأزمة في الرجال والعتاد التي نشأت أيام الحرب. فقد كان كثير من أمهر رجال الإنشاء في طريقهم إلى مجهود الحرب، وكلما تقدم العمل اشتدت صعوبة الحصول على من يحل محلهم كذلك الحال في مواد البناء، فقد أعطيت الأولوية لتلبية مطالب أكثر عجلة. واستغرق بناء سد فونتانا ثلاث سنوات. ويبلغ ارتفاعه **٤٨٠** قدما، ويبلغ طوله **٢٣٦٥** قدما، وقد صمم جسمه بصورة تجعله يبدو أضخم من ذلك فهو مستو ومنزلق وبسيط. وعمل في بنائه ستة آلاف عامل، فدفعوا النهر إلى قنوات التحويل في الوقت الذي كانت تصب فيه الخرسانة، أما الآن فلم تعد محطة الكهرباء في حاجة إلى أكثر من بضعة رجال لصيانتها، وتحول معسكر البناء إلى منطقة ترفيهية على تنيسي الصغير.

وبعد شهر من بدء العمل في فونتانا، شرعت الهيئة في بناء سد على الفرع الجنوبي من نهر هولستون في شمال شرقي ولاية تنيسي على حدود فرجينيا على أن الأزمة في الرجال ومواد البناء اضطرت الهيئة إلى تأجيل العمل فيه سنة **١٩٤٣**. واستؤنف العمل في بناء السد جنوب هولستون في أغسطس سنة **١٩٤٧**، فتم في أوائل عام **١٩٥١**، ويتكون

من ركام الصخر والتراب مثل سد نوتلي في حوض هيواسي وفي منطقة لا تبعد كثيرا عن سد جنوبب هولستون بدأ العمل أيضا في بناء سد آخر جنوبا عام ١٩٤٢ وأرجى العمل فيه هو الآخر. ودب النشاط من جديد في سد واتوجا في صيف عام ١٩٤٦ واستمر ثلاث سنوات. وقد صمم ليتكون من ثلاث أقسام: السد نفسه، هو عبارة عن حاجز من الصخر والتراب طوله ٩٠٠ قدم، ومحطة الكهرباء وتبعد ميلا وراء السد، ومركز الزوار ويبعد مئات قليلة من الياردات فوق السد، حيث يجد الزائر من يشرح له عمل الهيئة وادي تنيسي يوميا. وخلال الخمسينيات ظلت هيئة وادي توسع من شبكة سدود الروافد التي تقيمها. وشهد عام ١٩٥٠ بداية سد بون وتعديل نمط سد ويلبور الذي بني قبل قيام هيئة وادي تنيسي. وفي عام ١٩٥١، بدأ العمل في سد فورت باتريك هنري وهو السد رقم "٢٠" الذي تبنيه هيئة وادي تنيسي خلال عشرين سنة من عمرها، وتبعته سدود أخرى، دون أن تتم المهمة التي تضطلع بها بعد.

وآخر سدود الهيئة هو سد ملتون هيل الذي تكلف ٣٤ مليون دولار على نهر كلينش ولا يبعد عن سد نوريس وسد ملتون على بعد ١٩ ميلا غربي نوكسفيل و٩ أميال جنوبي غرب مدينة أوكريدج، حيث تتطلب أبحاث تجارب الطاقة الذرية قدرا كبيرا من القوة الكهربائية. وينتج سد ملتون هيل الذي بدأ تشنيله في صيف ١٩٦٣ قوة مبدئية قدرها ٧٢٠٠٠ كيلو واط والتغيير الذي جاءت به هيئة وادي تنيسي والسدود

التي أقامتها في جنبات الوادي منذ عام ١٩٣٣ تغيير عظيم. فقد أصبح النهر صالحا للملاحة لمسافة ٦٥٠ ميلا طوال العام. وامتدت الحقول الخضراء على أرض كانت من قبل صحراء يبابا جرف الفيضان تربتها الخصبة وأصبح لدى بيوت الشعب التي لم تر النور الكهربائي أبدا قبل عام ١٩٣٣ الغسالات الكهربائية وأجهزة التلفزيون والثلاجات الكهربائية وتتجاوز المزايا التي حققتها هيئة وادي تنيسي حدود الوادي. من ذلك أنه في السنوات الأخيرة أغلقت الهيئة ثلاث مرات كافة البوابات، حتى تمنع ماء الفيضان من إلحاق المزيد من الضرر بالمناطق التي إجتاحها في وادي أوهيو والمسيسيبي ونهر تنيسي أكبر نهر يسيطر عليه الإنسان سيطرة تامة في أنحاء العالم. وإذا كان يغير من عادته بين آن وآخر متضجرا متململا محاولا التخلص من أغلاله، فإن السدود لا تسمح له بشئ من ذلك.

جراند كولي

هناك أنواع كثيرة من السدود الكبرى ويعتبر سد فايونت في إيطاليا أعلى سد في العالم. أما سد فورت بيك في ميسوري فهو أطول السدود وأكبرها حجما. وأما سد هوفر فله أكبر خزان وإن كان لن يحتفظ طويلا بهذه المكانة، إذ عندما يمتلئ خزان سد كاريبا في أفريقيا، فإنه سيفوق بحيرة ميد أربع مرات وأما سد جراند كولي – الذي أعتبرته الجمعية الأمريكة للمهندسين المدنيين هو وسد هوفر، من العجائب السبع في الهندسة المدينة الحديثة بالولايات المتحدة – فهو يحتل لقبا سوف يحتفظ به بعض الوقت كأكبر بناء خرساني في العالم. وكان لابد من صب أكثر من عشرة ملايين ياردة مكعبة من الخرسان كي يؤدي سد كولي الغرض الذي أنشئ من أجله، وهو حجز مياه نهر كولومبيا. ولا يوجد سد خرساني آخر يقاربه – في هذا الحجم.

وسد جراند كولي، كان مثل سد هيئة وادي تنيسي أحد مشروعات العهد الجديد، وإن كان قد نوقش لأول مرة عندما كان تيودور روزفلت، لافرانكلين روزفلت، في البيت الأبيض. ونهر كولومبيا الذي ينبع في جبال روكيز الكندية ويندفع في رعونة عبر ولايتي وشنطون وأريجون إلى المحيط الهادي يعتبر من أقوى الأنهار جميعا. وليس في القارة الأمريكية من الأنهار ما يفوقه في كمية الماء المنساب فيه إلا المسيسيبي

وماكينزي وسانت لورنس، لكن نهر كولومبيا يبزها شدة وعنفا، وقد سمي "أبو الأنهار" وله منابع وروافد كثيرة، وحوض تصريفه يغطي ٢٥٩٠٠٠ ميل مربع (منها ٣٩٧٠٠ ميل مربع في كندا). ويشمل حوض كولومبيا نحو ٧٪ من مجموع مساحة الولايات المتحدة القارية بإستثناء لسكار ونحو ٤٠٪ من احتمالات طاقة الكهرباء الهيدروليكية في أنحاء البلاد وإلى أن تم بناء جراند كولي، كانت هذه القوة الضخمة تضيع في البحر هباء منثورا، بينما كان سكان وشنطون وأريجون يرقبونه في شوق وقلة حيلة. وكانت المناطق الشمالية الغربية المطلة على المحيط الهادي تذوي وتذبل محروسة من الطاقة اللازمة للصناعة والماء اللازم لمزارعها، بينما كان مفتاح الطريق إلى الخير والرواج قابعا يتلألأ بعيدا عن متناول يدها في نهر كولومبيا.

وكان مجرى نهر كولومبيا قد تحول عن مكانه من آلاف السنين نتيجة لإنهيار كتل ضخمة من الجليد. وتكون سد طبيعي من الثلج دفع النهر إلى أن يشق لنفسه مجرى جديدا هو جراند كولي. وعندما توقف انهمار الجليد، عاد النهر إلى مجراه الأصلي تاركا جراند كولي غورا جافا كبيرا الحجم. وبقيت هنالك هذه الفجوة الضخمة، هذا الأخدود الجاف، مخترقا حقول وسط وشنطون البركانية التربة. وتساءل الناس في شمال الغرب "لماذا لا تسد هذه الهوة عند طرفيها وتحول إلى خزان للري؟" على أن هذا أثار مشكلة هندسية كبيرة، فكانت هذه الفجوة

القديمة أعلى من مستوى كولومبيا الحالي بمئات الأقدام. فكيف يمكن نزح الماء إلى مستوى ارتفاع فجوة جراند كولي؟ كان هذا شيئا مستحيلا! ثم كيف يستطيع أحد أن يبني سدا من الضخامة، بحيث يرفع الماء إلى هذا المستوى العالي دون أن يغرق نصف كندا؟.

وبدا أن فكرة جراند كولي تتعثر في هذه النقطة بالذات فلم يكن في وسع أحد أن يتصور كيف يمكن بناء بالحجم المطلوب، فضلا عن أنه لم تكن هناك مضخات لأداء عملية رفع الماء إلى الخزان. وكان لابد أن يكون السد، إذا بني أصلا، متعدد الأغراض فيوفر القوة الكهربائية وييسر الري وإلا عجز عن تغطية نفقاته وما جاء عام ١٩٣٢، حتى كان مكتب الإصلاح الزراعي قد وضع مشروعات لإقامة سد في هذا الموقع – مع حطة مضخات لرفع الماء لارتفاع مئات الأقدام حتى يصل إلى غور جراند كولي، حيث يمكن استخدامه لتوليد الكهرباء وري الأرض. لكن الرئيس هوفر رفض أن يطلب إلى الكونجرس اعتماد المال اللازم للمشروع وتوقف الأمر عند هذا الحد وفي العام التالي، انتعشت الفكرة من جديد في ظل حكومة روزفلت الجديدة واهتمامها الشديد بتوفير الطاقة الكهربائية للشعب. واعتمد الرئيس الجديد إنفاق مبلغ ٦٠ مليون دولار على هذه العملية، رغم أن تكاليفها تجاوزت ذلك كثيرا قبل أن تتم وتضخمت بشكل لم يكن يتصوره أحد سنة ١٩٣٣.

وعندما بدأت عملية الإنشاء في ديسمبر سنة ١٩٣٥ قامت على

أساس الإدراك بأنها عندما تتم ستكون أكبر بناء يقيمه الأنسان في تاريخ الأرض وكانت العملية مكونة من شقين: فأولا، كان لابد من بناء سد عبر نهر كولومبيا لتكوين خزان وتهيئة مورد للقوة الكهربائية الهدروليكية. ثم كان لابد ثانيا، من إغلاق غور جراند كولي ونزح بالمضخات من الخزان المنخفض إلى الخزان المرتفع، ثم منه إلى الحقول المجاورة.

أما عن السد، فقد أقيمت ثلاث مدن لإيواء العمال لأن موقع السد في منتصف مجرى نهر كولومبيا البالغ طوله ١٢١٤ ميلا، كان في بقعة موحشة مقفرة من ولاية وشنطون. وخصصت مدينة كولي لسكني المهندسين المشرفين على المشروع، ومدينة ماسون لرؤساء الأعمال أو الملاحظين، وجراند كولي للعمال العاديين. وما أن أقيمت هذه المدن، حتى أمكن البدء في العملية الضخمة بتطهير جوف النهر لإقامة أساسات السد وبدأ العمل على الضفة الغربية فأقيم سد أمامي مؤقت نصف دائري من ستائر الصلب طوله ٣٠٠٠ قدما ممتدا من الضفة إلى عرض النهر، ثم عائدا إلى الضفة ثانية. وملئ بالتراب والركام بينما استمرت عملية نسف قاع النهر. وأخذت الكراكات البخارية تجرف قطعا ضخمة من مجرى النهر متعمقة صوب الصخر المتين تحتها.

وعندما انتهى العمل في الجانب الغربي من موقع السد انتقلت العمليات إلى وسط النهر. وهنا أقيمت سدود مؤقتة أمامية أضخم حجما حول مساحة قدرها خمسون فدانا نزح الماء منها بالمضخات، وبدأت

عمليتا الحفر وصب الخرسانة هناك وخلال هذه المرحلة من عملية البناء، انهار جزء من سلسلة السدود المؤقتة الأمامية تحت الضغط المتوالي من تيار الماء وبدأت المياه تتدفق إلى منطقة البناء بعدل ٤٠٠٠٠ جالون من الماء في الدقيقة تقريبا. وصدرت الأوامر إلى الجميع بأن يترك كل فرد أي عمل يؤديه ويبادر فورا إلى المكان الذي انهارت سدوده المؤقتة. واشتبك الرجال في الليل والنهار، مع نوبات كل ساعتين، في معركة لصد هجوم النهر. وكانت قصعات الخرسانة الضخمة التي تسع عشرة أطنان تهبط بهم إلى منطقة العمل وهي معلقة من جسور الإنشاء على طول جدار الأخدود. وبينما كانت المضخات تدور بأقصى طاقتها لنزح الماء المتدفق، كان العمال يبذلون أقصى جهد لسد الهواة وتدفقت مئات الأطنان من الردم داخل الثغرة. ومع ذلك، ظل النهر يسيل من الفتحة. وأخيرا جاء المهندسون بمادة اسمها الدنتونيت التي تنتفخ وتتضخم ويزيد حجمها خمس عشرة مرة عن حجمها الطبيعي عندما تبتل وأخذوا يصبونها في الثغرة بالأطنان. وعندما تمددت سدت الثغرة وصدت الماء. ونجم عن هذه العملية بضع خسائر في الأرواح، إلى جانب ما قيمته نصف مليون دولار من تكاليف الوقت الضائع.

وبعد ذلك، هدد البناء انزلاق في الأرض فقد بدأت مليون ياردة مكعبة من التراب والأحجار على الضفة الغربية في الهبوط والانزلاق إلى مكان الحفر. وأسرع العمال بإيقاف الانزلاق بقنطرة من الصخور.

وفحص المهندسون الموقع واكتشفوا أن الكتلة المنزلقة كانت تستند على أساس من الطمي المشبع بالماء، وهيأ الطمي ممرا تنزلق عليه الأرض بسهولة، وشقت مئات الأقدام من داخل الطمي لصرف الماء وتقليل الانزلاق. وسرعان ماحدثت نكبة ثالثة على الجانب الآخر المقابل من النهر: انزلاق أرضي آخر. كانت هناك كتلة من المواد تهبط بمعدل قدمين في الساعة. ولم يكن في وسع المهندسين الحائرين في مبدأ الأمر الإهتداء إلى وسيلة يوفقون بها الهبوط، إلى أن قرروا في يأس أن يجمدوا الانزلاق بالتبريد. ودفع العمال أنابيب يبلغ مجموع طولها ستة أميال داخل الأرض وحقنوا التربة بماء الملح المثلج فجمد الماء الانزلاق وأوقف تفاقمه.

واستمر العمل، وأنتجت آلات خلط الخرسانة على جانبي النهر آلاف الأطنان منها، نقلت بالأوعية المثبتة بجنزير متحرك إلى الونش الذي يحمل خمسين طنا فيهبط منها، نقلت بالأوعية المثبتة بخنزير متحرك إلى الونش الذي يحمل خمسين طنا فيهبط بها إلى الحفرة. وقد تخلل السد الكبير آلاف من أنابيب التبريد للإسراع في عملية تخفيض درجة حرارة الخرسانة، التي ذكرنا من قبل أنها تتقلص عندما تتحجر وينجم عنها حرارة كبيرة. وقدر المهندسون أنهم لو تركوا خرسانة السد لتبرد بشكل طبيعي لاستغرق ذلك ١٥٠ سنة. لكن إمرار الماء المثلج في الأنابيب التي تتخلل البناء خفض حرارة كل كتلة من الخرسانة إلى درجة الحرارة الطبيعية

في ظرف شهر، الأمر الذي يسمح باستمرار عملية البناء في يسر ولين دون توقف كي يجف البناء. وقد استخدمت لهذا الغرض أنابيب بلغ مجموع طولها ٢٠٠٠ ميل. وما حل عام ١٩٤٠، حتى كانت معظم العملية قد تمت وبدأ مستوى الماء يرتفع في البحيرة أمام السد. وفي مارس سنة ١٩٤١، تم الحصول على أول طاقة كهربائية من مولدين صغيرين عند السد. وفي أغسطس بدأ يدور توربين قوته ١٥٠,٠٠٠ حصان. وفي عام ١٩٤٢، ثم تشغيل السد بصورة كاملة كمورد للطاقة الكهربائية. وبدأت مياه بحيرته التي سميت بحيرة روزفلت تتجمع نحو الحدود الكندية، حتى وصلت في النهاية مسافة تزيد على ١٥٠ ميلا طولا. ومن هذه الكتلة الضخمة التي يبلغ حجمها عشرة ملايين ياردة مكعبة من الخرسانة والصلب أمكن توليد الطاقة الكهربائية، حيث أعدت الأنفاق التي يبلغ قطرها ١٨ قدما – أي أنها تتسع لمرور قطار سريع، كي تنقل الماء إلى التوربينات. فهي ثماني عشرة أنبوبة ضخفمة تحمل من الماء ما يكفي لإمداد كل شخص على وجه الأرض بجالون من الماء كل ساعة. وقد استوعب التوسع الضخم في صناعة الألومنيوم، واحتياجات مصانع الطاقة الذرية، كل الطاقة الكهربائية التي ولدها جراند كولي بكل سهولة. وسرعان ما اتضح أن الأمر يقتضي بناء سدود جديدة ولم يعد أحد يتساءل "ترى من سيبتاع كل هذه الطاقة؟"، بل أصبح السؤال المألوف، "ترى متى يصبح السد التالي على أهبة الإستعداد؟" وكانت احتمالات قوة نهر كولومبيا من الضخامة، بحيث أن سد جراند كولي لم يكد يمس منها

شيئا. فالنهر في اندفاعه من منبعه إلى مصبه في البحر ينخفض ٢٦٥٠ قدما، وهو ارتفاع يبلغ ضعف ارتفاع شلالات نياجرا ١٦ مرة. وهذا الأنسياب الضخم يكون طاقة ضخمة توازي ما تنتجه حمولة مليونين من صهاريج سيارات زيت الوقود في السنة. وكان لابد من إستنباط هذه القوة ليفيد بها شمال الغرب النامي، لذلك كان لابد من تكملة المهمة التي يؤديها سد جراند كولي. وكان لابد من إستنباك هذه القوة ليفيد بها شمال الغرب النامي، لذلك كان لابد من تكملة المهمة التي يؤديها سد جراند كولي. وساعد على ذلك سد بونفيل في غربي أوريجون وهو من مشروعات العهد الجديد المبكرة، إذ تم بناؤه قبل جراند كولي بسنوات وقد احتجز مياه شلالات كاسكاد، وهي بقعة تمتد خمسة أميال من المياه المتفجرة في عنف بصورة تعوق الملاحة على نهر كولمبيا لعشرات السنين. وقد أنتج سد بونفيل أيضا طاقة كهربائية يبعت كما ذكرنا من قبل بثمن زهيد للجمهور عن طريق إدارة كهرباء بونفيل. وقد ولد سد بونفيل ٥٠٠ ألف كيلو واط من الطاقة الكهربائية، كما ولد جراند لولي أربعة أضعاف هذا القدر، فأنتجا معا من الكهرباء ما غذى مدن نيويورك وشيكاغو وفيلادلفيا وديترويت ولوس أنجليس وكليفلاند، لكن هذا كان لا يزال غير كاف لشمال الغرب المزدهر وصناعاته الثقيلة.

وجاءت بعد ذلك سدود كبيرة أخرى في حوض كولومبيا – مثل روك أيلاند، وأندرسون رانش، ودالاس، وتشيف جوزيف، وما كناري، وهنجري

هورس وأكثر من عشرة غيرها. وبدأت موارد الطاقة تنمو لمواجهة الإحتياجات الجديدة وكان سد هنجري هورس من أكبر السدود، ويبلغ طوله ٢١٠٠ قدم وارتفاعه ٥٦٤ قدما، أي أنه أعلى من سد جراند كولي بأربع عشرة قدم. واستخدم في بناء سد هنجري هورس ٢,٩٠٠،٠٠٠ باردة مكعبة من الخرسانة، ويقع على نهر فلات هيد، وهو أحد روافد نهر كولومبيا في مونتانا. وكان لابد من اجتثاث غابة كثيفة من أمام الخزان الذي يمتد ٣٥ ميلا على طول النهر ويغطي مساحة ٢٤٠٠٠ فدان قبل أن يمتلئ بالماء. ولم يكن في الإمكان القيام أعمال بناء السد نفسه، إلا فيما بين شهري مارس ونوفمبر من السنة بسبب برد الشتاء القارس، ومع ذلك، فقد انتهى العمل في السد قبل الموعد المقرر.

وسد آخر من سدود الروافد في مجموعة سدود نهر كولومبيا هو سد سويفت على نهر لويس، في جبال كاسكاد بوشنطون. وهذا السد الذي ينته هيئة خاصة، وقامت على إدارته شركة الباسفيك للكهرباء والنور، من النوع الترابي وهو من أعلا السدود الترابية في العالم، إذ يبلغ ارتفاعه ٥١٢ قدما. وقد تم بناؤه سنة ١٩٥٩ وظل يحتفظ بمكانته قرابة عام واحد إلى أن فاقه في الارتفاع سد ترينيتي بكاليفورنيا ويبلغ ارتفاعه ٥٣٨ قدما.

وإستخدم في بناء سد سويفت حمولة ٧٥٠,٠٠٠ سيارة نقل من التراب والركام أي ما يوازي ١٥,٣٠٠,٠٠٠ ياردة مكعبة، منها مليون

باردة مكعبة من جوف النهر نفسه بعد شق قناة يبلغ طولها نحو ٣٠٠٠ قدم لتحويل نهر لويس. وقدرة السد على توليد الطاقة كبيرة ضخمة، إذ تبلغ ٦٠٠,٠٠٠ كيلو واط/ساعة من في السنة. وقد أقيم لهذا الغرض فقط، إذ لا يستخدم في أعمال الرى أو التحكم في الفيضان أو الملاحة.

وقد أمتدت الآن أنظمة توليد الكهرباء في حوض كولومبيا إلى أحد الروافد الأخرى، وهو نهر سنيك ويقع بين أوريجون وأيداهو. وهناك عدة مشروعات ما زالت موضع البحث في هذه المنطقة كما تم بناء عدة سدود. لكن مشروعات توليد الكهرباء من نهر سنيك، قد شاءلها سوء الحظ أن يثار حولها الجدل القديم العقيم بين أنصار كل من القطاع العام والقطاع الخاص، وقد أدى الصراع إلى تعويق إنجاز المشروع. ونظرا لضخامة إمكانيات توليد الكهرباء في حوض نهر كولومبيا، ثم نظرا لكثرة الجدل وعنف النزاع حول من يضطلع ببناء هذا المشروع أو ذاك، فقد إقتراح البعض مرارا أن تقوم الحكومة بتشكيل هيئة لوادي كولومبيا لتنسيق كافة المشروعات الكهربائية المختلفة المتشابكة في الإقليم. لكن ليس ثمة ما يدل على أن الحكومة تفكر في إتخاذ مثل هذه الخطوة.

وأقرب شئ إلى توحيد الجهود في حوض كولومبيا، تلك الهيئة المسماة بشبكة كهرباء شمالي الغرب، وهي تنظيم يربط بين سدود توليد الكهرباء الفدرالية والمحلية والخاصة، وتبلغ نحو ٢٠٠ سد، لتنسيق جهودها. والمنطقة التي تغطيها هذه الشبكة لا تشمل واشنطن وأوريجون

فحسب، بل تمتد شرقا إلى أيداهو وغرب مونتانا، ثم عبر الحدود الكندية إلى كولومبيا البريطانية وتضمن هذه الشبكة الكهربائية استمرار توفير الطاقة الكهربائية في جميع المناطق، ونظرا لأنه لم يتيسر بعد العدد الكافي من السدود ذات الكفاءة التخزينية العالية لإحتجاز فيضان الربيع والصيف في نهر كولومبيا وخزن مياهه التوليد الكهرباء في أشهر الجفاف، فإن الطاقة الكهربائية تنخفض في بعض أجزاء حوض كولومبيا. فعندما ترتفع المياه في منطقة معينة قد تنخفض في مناطق أخرى. وعندما تغلق فتحات سد من السدود كي يمتلئ خزانه فإن الطاقة الكهربائية تستورد من السدود الأخرى كي تظل الخدمة منتظمة، وفي عام ١٩٥٣ عندما تسبب الفيضان في تعطيل الكهرباء في سد جراند كولي بعض الوقت امتدت خدمات سدود توليد الكهرباء الأخرى المشتركة في الشبكة إلى المنطقة التي تعطلت فيها الكهرباء على الفور. فإذا تعطل توليد الكهرباء في كولومبيا البريطانية جاءتها النجدة من أوريجون مثلا على بعد ألف ميل، والعكس بالعكس. ونظرا لعدم وجود هيئة عامة لوادي كولومبيا فإن شبكة كهرباء شمال الغرب تحقق قدرا من التنسيق في الموافق التي لولا جهودها لعم الإضطراب والفوضى.

سد جراند كولي وشئون الري

لم يبدأ استخدام المياه المنجمعة أمام سد جراند كولي في أعمال الري إلا بعد الإنتهاء من بقائه بعشر سنوات. وقد بدأت المياه تنساب من جراند كولى إلى حقول بحيرة موسى بولاية واشنطن في ٢٩ يو سنة

١٩٥٢: وقد افتتح مدير مكتب الإصلاح الزراعي مجرى المياه بنفسه فتدفقت إلى حقل جف زرعه وسالت المياه من الخزان المغلق الذي كان من قبل غورا جافا يعرف باسم غور جراند كولي. وقد رفعت المضخات القوية المياه من بحيرة روزفلت إلى الخزان الجديد، ومنه إلى القنوات والسحارات التي حملته إلى ١,٠٢٩,٠٠٠ فدان من المزاع العطشى. واتسع مشروع الري تدريجا بمعدل ٦٠,٠٠٠ فدان في السنة في منطقة فسيحة بشمال الغرب. ولم تبدأ مدن أواسط واشنطن مثل بحيرة موسى، وإفراتا، وكوينسي، وأوثللو، إلا اليوم فقط في تذوق المزايا الحقيقية التي يحققها السد العملاق الذي اعتمد بناءه الرئيس روزفلت من ثلاثين عاما مضت. وتشهد الحقول المزدهرة التي يزرع فيها بنجر السكر والحنطه والفول والبطاطس، كما تشهد المساحات المترامية الأطراف من سنابل القمح الذهبية بالتحول الضخم الذي حققه سد جراند كولي. ولما كان تحويل مناطق الأشواك والنباتات البرية إلى المزارع بنجر يانعة عملية بطيئة، فقد كان لابد من بناء السد أولا، وهي مهمة استغرقت حتى عام ١٩٤٢. ثم كان لابد من أن تمتلئ بحيرة روزفلت بالماء بما يتجاوز الحدود الكندية.

وقد أغلق الغور القديم بالسدود. وقد سد الطرف الأدنى منه ببناء من الصخور والتراب ويعرف بسد الشلالات الجافة، ووراءه القمة الصخرية المعرفة بالشلالات الجافة، وكانت ذات يوم موقع شلالات هادرة بلغ ارتفاعها ٤١٧ قدما في أزمان ما قبل التاريخ عندما كان الغور

جوفا لنهر كولومبيا. ووراء الغور سد جراند كولي الرائع المهيب المكون من ٢٢ مليون طن، من الخرسانة ويبلغ ارتفاعه ٥٥٠ قدما وطوله أكثر من ٤٠٠٠ قدم عند القمة. ويتخلل جسم السد أميال من ممرات التفتيش وأنابيب تجديد الهواء. ويقوم على جانبي فتحة الفائض محطتات كبيرتان لتوليد الكهرباء يبلغ ارتفاعهما ضعف شلالات نياجرا، كما تبلغ قوتهما نصف قوة تلك الشلالات. وفي الطرف الغربي من السد ركبت المضخات بشكل يتقاطع مع المحطتين اللتين تغذيان خطوط التحويل الممتدة مسافات طويلة إلى إدارة كهرباء بونفيل. والمضخات تدور بموتور قوة ٦٥٠٠٠ حصان وتنزح المياه من عمق ٨٠ قدما من سطح بحيرة روزفلت وترفعها دون كلل أو ملل مسافة ٢٨٠ قدما إلى قناة تغذية تدفعها إلى خزان الغور المغلق.

وتم ملء الخزان في بطء مقصود، ذلك أن سد جراند كولي استخدم لتوليد أقصى طاقة من الكهرباء في أغلب الوقت، لذلك لم يتبق هنالك من الماء ما يفي بحاجة الرى. كذلك فإن السلطات المسئولة عن السد لم ترغب في ملئ الخزان بسرعة أكثر ما ينبغي، فقد ظل الغور جافا عدة آلاف من السنين منذ ذوبان الثلوج، ولذا فقد أرادت أن تتيح لأرضية الغور الوقت الكافي لتتشرب بالماء من جديد قبل تدفق المياه بكميات كبيرة على أنه سرعان ما شغلت المضخات بانتظام وبدأ الخزان المغلق الذي يبلغ طوله ٢٧ ميلا يمتلئ بالمياه. وأخذت "صخرة الباخرة" التي نتأت

يوما ما من القمم تتحول إلى جزيرة. وكانت كل مضخة عندما تدور بأقصى طاقتها ترفع بليون جالون من المياه – وهي كمية من الماء تزيد على حاجة مدينة شيكاغو كلها أما الحقول المجاورة فقد استقبلت المياه في اشتياق. وهكذا يؤدي سد جراند كولي وظيفته الثانية، وهي جلب المياه إلى الحقول. وهناك شبكة ضخمة من القنوات يبلغ مجموع طولها نحو ٥٠٠ ميل تحمل الماء من الخزان العالي إلى المزارع الخضراء.

نهر يصبح ممرا بحريا

تحتوي البحيرات الكبرى الخمس سوبيريور، ومتيجان، وهورون، وإيري، وأونتاريو على أضخم قدر من الماء العذب على وجه الأرض. وأضخم هذه البحيرات جميعا هي بحيرة سوبيريور وهي أبعدها شمالا وغربا. وتصب مياهها في بحيرة هورن وبحيرة متشيجان، ومنها إلى بحيرة إيري. ويصرف نهر نياجرا الذي يبلغ طول ٣٦ ميلا ماء البحيرات الأربع الكبيرة إلى البحيرة الخامسة وهي بحيرة أونتاربو، مكونا في الطريق منظرا من أعظم المناظر الطبيعية في العالم وهو شلالات نياجرا.

ويستمر سير الماء شرقا من بحيرة أونتاريو عن طريق نهر سانت لورنس الذي يحتضن الحدود بين الولايات المتحدة وكندا إلى أن يصب في المحيط الأطلسي. وكانت لورانس إلى عهد قريب نهرا غير منتظم، فإن قسما كبيرا من مجراه الممتد ٤٠٠ ميل من بحيرة أونتاريو إلى كوبيك كان واسعا عميقا، صالحا لملاحة السفن الكبيرة. لكن النهر كان يضيق في ثلاثة مواقع، حيث تعترضه صخور تتوغل في قاعه الضحل وتبرز بشكل يشق بطن أي سفينة تبلغ بها الحماقة حد المخاطرة باجتياز هذه البقعة لذلك كان هذا النهر السريع غير صالح لملاحة سفن البضائع الكبيرة. وعندما كانت السفن التجارية الكبيرة قادمة من أوربا تتجه بحمولتها إلى موانى البحيرات الكبرى، كانت تضطر إلى التوقف في مونتريال حيث تمارس عملية باهظة

التكاليف مضيعة للوقت وهي تفريغ أحمالها في قوارب نهرية مستوية القاع حتى تستطيع أن تجتاز منطقة الشلالات.

وما برح الإنسان يقوم بكثير من أعمال الترميم والتطهير في البحيرات الكبرى ونهر سانت لورنس منذ فترة طويلة: ففي عام ١٧٠٠ حفرت قناة إلى جانب نهر سانت لورنس للتخلص من أحد مساقطه. كانت قناة صغيرة لا تصلح كثيرا لغير الصنادل النهرية لكنها كانت بداية في معالجة مشاكل المنطقة، وتبعتها قنوات صغيرة أخرى في القرن الثامن عشر. واتخذت خطوات كبيرة نحو شق طريق بحري داخلي في عشرينات القرن الماضي ببناء قناة ويلاند. وقد تفادت هذه القناة أكبر عائق وحيد على الطريق المائي بين بحيرة سوبيريور والمحيط الأطلسي. وبحيرة إيري تعلوا أكثر من ٣٠٠ قدم عن بحيرة أونتاريو. ومن الممكن أن تبحر السفن عبر نهر نياجرا في المنطقة التي تنخفض ٣٢٦ قدما فيما بين هاتين البحيرتين لولا عائق كبير واحد: هو أن نصف هذا الأنحدار يحدث فجأة في بقعة واحدة هي شلالات نياجرا. وحتي في عالم اليوم الذي تصنع فيه العجائب لا تعرف كيف تسير السفن من أعلى النهر إلى أدناه عبر الشلالات، ناهيك بالطريق العكسي وقد شجع بعض رجال الأعمال الكنديين البعيدي النظر حفر قناة جانبيه طولها ٢٨ ميلا تصل بين بحيرتي إيري وأونتاريو.وكان لابد من أن تلقي بمياه نهر ويلاند وهو أحد روافد نهر نياجرا. وتم شق القناة عام ١٨٣٠ بصعوبة. وبقيت

مشكلة الإنحدار بين البحيرتين على مسافة تقرب من ثلاثين ميلا. ولكن لم تكن هناك على الأقل شلالات مثل نياجرا تعترض القناة. وكان من الممكن التيسير على السفن عن طريق سلسلة من الأهوسة. والأهوسة عبارة طراز خاص جدا من السدود يستخدم "كمصاعد" أو "سلالم" للمراكب التي تسير في النهر. والهويس في بساطة متناهية عبارة عن بناء يقيمه الإنسان وسط النهر، بجدارين مجهزين ببوابتين تتسع المسافة بينهما للسفن. فالسفينة التي تسير من أسفل إلى أعلى صاعدة منحدرا تدخل الهوايس من الجانب المنخفض وتغلق وراءها البوابة ثم تفتح بوابة الجانب المرتفع النهر فيتدفق الماء إلى الهوايس ويملأ كما يمتلئ الخزان أمام سد. وتطفو السفينة إلى أعلى حتى تصل إلى مستوى الماء أمامها، وحينئذ تفتح بوابة الجانب الأعلى وتمر خلالها السفينة. وعندما يكون المنحدر شديدا تبني سلسلة متدرجة من الأهوسة، بحيث يرفع كل هويس منها السفينة مسافة ٣٠ أو ٤٠ قدما فتنتقل من هويس إلى الهويس التالي له. وفي اليوم الذي يكثر فيه العمل قد تكون هناك سفن منتظرة في كل هويس في السلسلة، تنتقل كلها في وقت واحد حينما يمتلئ الهويس. ونزول السفن من أعلى النهر إلى أسفله يتم بطريقة عكسية إذ تدخل السفينة الممتلئ بالماء من الجانب الأعلى ثم تفتح الفتحات لينطلق الماء نحو الجانب السفلي فتنخفض السفينة.

وقناة ويلاند الأولى بها عدة ثغرات، لكنها أدت المهمة التي

صممت من أجلها، فقد مكنت السفن من السير من بحيرة إيريإلى بحيرة أونتاريو لأول مرة. وفي عام ١٨٣٢ كان رجال من ذوي النظرة الثانية مثل جون بونج من مونتريال يتنبأون بقدوم عهد يقام فيه ممر بحري يربط بين البحيرات الكبرى الخمس ويصلها بالمحيط الأطلنطي. وظل الإنسان يصلح ما أعوج من أمر الطريق المائي وأقيمت قنوات صغيرى أخرى بعد قناة ويلاند بعشرات السنين. وكانت العملية الكبيرة الثانية التي لابد من معالجتها عند سولت ساتت ماري هي القناة التي تخرج من بحيرى سوبيريور إلى بحيرة هورون فهناك كانت تتفجر شلالات رهيبة مكونة عائقا لا يمكن التغلب عليه في الطريق بين البحيرتين الكبيرتين. وكان لابد من نقل القمح من البراري وخام الحديد من مناجم ميتشيجان شرقا عن طريق البر. كذلك فإن البضائع التي كان الرواد يحتاجون إليها كان لابد من نقلها غربا بنفس الطريقة. وكانت عملية نقل خام الحديد إلى مصانع استخلاص الحديد في الشرق عن طريق البر عملية بطيئة باهظة التكاليف، وتوقف ازدهارها ميتشيجان على تطهير منطقة الشلالات التي التي تمتد ميلا عبر قناة سولت سانت ماري.

وأثارت فكرة بناء قناة هناك خيال رجل يسمى تشارلي هارفي كان يعمل في تجارة الموازين، فجمع المال اللازم وذلل العقبات السياسية التي اعترضت المشروع وبنى أهوسه مبطنة بالحجارة وبسعة لا يصورها أحد إذ بلغ طولها ٣٥٠ قدما. وقال الناس له: "لقد فقدت صوابك، فلن

تكون هناك سفينة على البحيرات الكبرى من الضخامة بحيث نحتاج إلى هويس بهذه السعة!" وابتسم هارفي وظل بيني قناته، وراح يكافح البعوض صيفا والبرد القارس شتاء، وحفر فجوة طولها ميل في وجه مشاكل هندسية ضخمة. وعندما ارتطمت المعاول بالصخور الصلبة رأى أن عليه أن يفجرها، إلا أن أقرب مورد للديناميت كان في ديلاوير، وأقرب مدينة في وسعه أن يرسل منها برقية كانت ديترويت، وقد علق هذا إتمام العملية. وكانت الساحة الأولية قد أدت به إلى التفكير في أن عليه يثقب حاجزا من الرمل لا من الصخر الصلب. فأعد أجهزة بخارية لأعمال الثقب حطمت نصف الصخر إلى أن تمكن من جلب الديناميت. وفي إبريل ١٩٥٥ تم إعداد الأهوسة وركبت البوابات في أماكنها، وكان كل ما بقى عليه أن يصنعه هو أن يشق الجزء الأخير من القناة في الطرف الغربي منها حتى تمر مياه بحيرة سوبيربور في القناة الجافة. وإلا أنه كان لابد من إقامة سد أمامي لإحتجاز الماء حتى تتم عملية شق هذا الجزء الأخير، ومات كابتن كانفيلد فجأة، وهو المهندس الذي كلفه هارفي بإنجاز العملية ولم يكن السد الأمامي قد تم نصفه. ولم يكن هذا السد الغير الكامل ليصمد لدفع الماء، ولم يكن ثمة وقت لإيجاد مهندس آخر على أن ذكاء هارفي الفطري لم يخذله. فأرسل أحد رجاله لشراء لفة كبيرة من قماش أشرعة السفن وفرد جزءا كبيرا منها وملأها بالحصي. ومد القماش المثقل بحمله عبر مصب الشلالات فصمد لتيار الماء، وأمكن الإستمرار في الحفر. وتم شق القناة وتدفق الماء فيها. واستغرقت

العملية ٢٢ شهرا ونصف، وفي يونية ١٨٥٥، كانت الباخرة إلينوى أول سفينة تمر من بحيرة هورون إلى بحيرة سوبيربور. وكانت عملية نقل البضائع على البر تستغرق ٢٠ عاما، أما الباخرة إلينوى فقد قطعت الرحلة في القناة في عشرين دقيقة. وكانت هذه خطوة كبيرة أخرى نحو ربط البحيرات الكبرى بالمحيط الأطلسي.

وفي خلال ستينات القرن التاسع عشر أقيم المزيد من القنوات على طول سانت لورنس بما مكن بعض السفن الصغيرة من إتمام الرحلة من البحيرات إلى المحيط دون أن تفرغ حمولتها. لكن كان لابد من إرجاء العمليات الكبرى إلى أن تبرم معاهدات التعاون بين الولايات المتحدة وكندا وهما يتقاسمان استخدام الممر المائي.

وفي سنة ١٨٧٦ بدأ العمل في هويس ثان في سولت سانت ماري يسمى هويس "ويتزل" وبلغ ارتفاعه ٥١٥ قدما فبدأ أمامه هويس هارفي قزما، بعد أن كان شيئا "لا يتصوره أحد بطوله البالغ ٣٥٠ قدما. لكن كانت السفن التي تزحم هويس ويتزل تمر بالقناة فعلا، إذ كانت السفن الشراعية قد بدأت تختفي لتحل محلها البواخر ذات الأحجام الهائلة والغاطس العميق.

وفي عام ١٨٩٢ جاءت أول حمولة على ظهر السفينة من خام الحديد من جبال ميسابي هابطة من بحيرة سوبيريور وكانت هناك طلبية أجنبية عاجلة لهذا الخام الممتاز الصنف، لكن كيف يمكن لسفينة

محملة بخام الحديد أن تشق طريقها خلال الشلالات الغادرة التي تعترض سانت لورنس إلى مواني أوروبا التي تنتظرها؟ واشتد الإقبال على بناء الأهوسة وخصوصا في سولت سانت ماري. وفي سنة ١٨٩٥ بنت كندا هويسا جديدا طوله ٩٠٠ قدم وعمقه ٢٢ قدما. ثم اقتفت الولايات المتحدة أثرها فبنت هويس "بو" وطوله ٧٠٤ أقدام سنة ١٨٩٦، وهويس ديفز وطوله ١٣٥٠ قدما في سنة ١٩١٤، وهويس سابين وهو توأم لديفز سنة ١٩١٩، وفي سنة ١٩٤٣ حل محل هويس ويتزيل القديم هويس ماك آرثر العملاق وطوله ٨٠٠ قدم وعرضه ٨٠ قدما وعمقه ٣١ قدما. وقد وسعت قناة ويلاند بضع مرات. وفي سنة ١٨٨٧ بلغ عمق أهوستها ١٤ قدما وطولها ٢٧٠ قدما، وهو حجم لم يعد يكفي لسير السفن التي باتت تمخر البحيرات أخيرا. وحتى لو أمكن للسفن الكبيرة أن تجتاز بحيرة إيريعن طريق قناة ويلاند، لتوقفت عند شلالات نهر سانت لورنس بعد بحيرة أونتاريو.

وقد مكنت قناة ويلاند الجديدة الهائلة البواخر الكبيرة التي تمخر البحيرات أن تسير الآن شرقا حتى بحيرة أونتاريو. لكنها كانت تضطر إلى التوقف هنا إذ كان وراءها قناة سانت لورنس بأهوستها الإثنين والعشربين. التي لا يتجاوز عمقها ١٤ قدما وشلالاتها الرهيبة.

على أن قناة ويلاند كانت بمثابة وحي وإلهام، ففي العام الذي تمت فيه، وهو عام ١٩٣٢، أبرمت الولايات المتحدة وكندا معا معاهدة

لإنشاء طريق بحري. على أن المعاهدات لابد أن يصدق عليها مجلس الشيوح بأغلبية ثلثي الأصوات وقد أفلح معارضو فكرة مشروع الطريق البحري في تعطيل التصويت على الإتفاقية سنتين – ثم عندما عرضت للتصويت عليها لم تحصل على الأغلبية المطلوبة. وإنهار المشروع لأن كندا لم يكن في وسعها أن تضطلع بالمهمة وحدها. وفي سنة ١٩٤١ حاول الرئيس روزفلت إنعاش الفكرة من جديد، لكن قدوم الحرب أرجا ذلك مؤقتا. وعندما أثار الرئيس ترومان بعد الحرب لم يوافق عليها الكونجرس. وهكذا بدأ أن مشروع الطريق البحري كتب له أن يكون من الأحلام الهندسية مثل النفق القنال الإنجليزي – يتحدث عنه كل إنسان ولا يحرك أحد ساكنا لبنائه.

على أن الأمور تطورت بسرعة سنة ١٩٤٨ عندما اكتشقت خام الحديد من الصنف الممتاز في كندا على طول حدود كويبيك ولا برادور. وكانت مناجم الحديد في ميتشيجان بسبيل النفاد، وأصبحت العواصم الصناعية في منتصف الغرب – مثل جاري وكليفلاند وإيريوشيكاغو وميلوكي – في أشد الحاجة لمورد خام الحديد الكندي الجديد. لكن جلب الحديد من المناجم إلى منتصف الغرب كان هو المشكلة. كان في وسع السكة الحديد أن تنقل خام الحديد إلى سانت لورنس بعد رحلة طولها ٤٠٠ ميل لكن كيف يمكن نقله بعد ذلك عبر نهر سانت لورانس الذي تتخلله الإثنان والعشرون هويسا عبر الشلالات وتلك القنوات

العتيقة، ومراكب خام الحديد من النوع الكبير، وكان الحل الواضح هو إقامة طريق سانت لورنس البحري وفي سنة ١٩٣٤ كانت كندا في حاجة إلى معونة الولايات المتحدة، أما الآن بعد مرور أكثر من خمس عشرة سنة فقد زادت كندا قوة وثراء فقالت للولايات المتحدة: "حسنا. إذا لم تكوني. راغبة في مساعدتنا في بناء الطريق البحري فلسوف نبنيه بأنفسنا!". وفي عام ١٩٥١ وافق البرلمان الكندي على إقامة طريق بحري كندي خالص وكان هذا بمثابة تهديد جديد كل الجدة لإقتصاد الولايات المتحدة، ولم يكن في وسعها أن تنعزل عن مثل هذا المشروع الهام. وسرعات ما أعد حل وسط يمكن أن يقبله الكونجرس في النهاية. فبالرغم من أن قناة سولت سانت ماري وقناة ويلاند لم تفرضا أية رسوم على المرور بهما، فإن الطريق البحري الجديد سوف يفرض الرسوم على السفن الماردة به، وهذا لإرضاء دافعي الضرائب في الجنوب والغرب الذين كانوا بصفة أساسية. أما بعد فرض الرسوم فإن الممر البحري يمكن أن يعتمد على نفسه ويغطي تكاليف إنشائه في غضون خمسين سنة. وعرض المشروع الجديد على الكونجرس سنة ١٩٥٤ وصدق عليه الرئيس أيزنهاور. وتقبلت كندا بسرور العرض الأمريكي المتأخر للتعاون معها. وأمكن إخراج مشروعات الطريق البحري إلى النور بعد أن ظلت مركونة على الرف عشرين سنة. ولم يكن المشروع بيني لإتاحة منفذ جديد للتجارة فحسب بل أيضا لتوليد الطاقة الكهربائية من سدود عملاقة.

ولقد كان هذا عملا ضخما، عملا يضاهي إنشاء قناة بناما أو ترويض نهر تنيسي، واستغرق سنوات وتكلف أكثر من بليون دولار وبلغ الحد الأقصى للعمال المشتغلين به ٢٢٠٠٠ عامل. واقتضت العملية الخاصة بالملاحة في المهمة ذات الشقين إحلال سبعة أهوسة كبيرة جديدة محل الأهوسة الإثنين والعشرين الصغيرة القديمة على نهر سانت لورنس. وقامت الولايات المتحدة ببناء إثنين منهما، وقامت كندا ببناء الخمسة الباقية، وبلغت مجموع تكاليف البناء ٤٧٠ مليون دولار – ولعل هذا أكبر مبلغ أنفق في بناء مثل هذه السلالم البحرية في العالم.

وقد دفنت هذه الأهوسة مع السدود المصاحبة لها الشلالات المزعجة إلى الأبد. لكن قوة إندفاع النهر ظلت لا يمكن مقاومتها كما كان الحال دائما، وقد سخرت هذه القوة في إدارة توربينات لتوليد الكهرباء. وهكذا جاء دور سد سوندوز للكهرباء، وهو أحد أجهزة توليد الكهرباء الستة الكبرى في أمريكا الشمالية بأجمعها. وتنتج مولداته الإثنان والثلاثون ١,٨٨٠,٠٠٠ كيلوات من الكهرباء توزع بالتساوي بين السلطتين القائمتين على توزيع الكهرباء، وهما إدارة كهرباء أونتاريو وإدارة كهرباء نيويورك.

وفي وسع أربعة أخماس سفن العالم استخدام الممر الجديد. وتستطيع سفن البضائع على وجه عام التي تبلغ سعتها ٩٠٠٠ طن،

وحاملات خام الحديد والحبوب حتى سعة ٢٥٠٠٠ طن، أن تجتاز الطريق عبر نهر سانت لورنس والبحيرات الكبرى، برسوم أقل من تلك التي تدفع في قناة بناما أو قناة السويس. والطريق المائي الجديد يسمح بمرور السفن التي تزيد سعتها من خمس إلى عشر مرات عن سعة السفن التي كانت تستخدم القناة القديمة. ثم إن الكهرباء المولدة من السدود الجديدة تنير البيوت وتدير المصانع تمتد من جنوبي وشرقي أونتاريو إلى وادي الموهوك بنيويورك وعبر بحيرة تشامبلين إلى فيرمونت.

وكان من أكبر المشاكل المؤرقة نوع من الطمي أسماه العمال بهذا الاسم المعبر "الهباب الأزرق"، وكان نوعا من الطين اللزج السائل الذي يلتصق بالجلد فيزعج العمال إذ يعلق بأجسادهم. وكان لابد من اغتراف ملايين الأطنان من "الهباب الأزرق" من قناة ويلي دنديرو – وقد سميت باسم عضو الشيوخ الذي خط بيده مشروع القانون الأخير – وتربط بين أكبر هويسين هما هويس أيزنهاور وهويس سنيل. وقد اقتضت عملية ويلي دنديرو حفر القناة بعرض ٤٤٢ قدما عند القاع وبعمق خمسين قدما، لكن قاع النهر ما برح ينضح بالطين السائب فينزلق ويمتلئ به القاع فيكاد يدفع العمال إلى الجنون.

وجئ بآلات الحفر الجبارة إلى مكان العمل وكانت أضخمها من النوع المعروف بفرس البحر الذي يزن ٦٥٠ طنا وسماها العمال من باب التفكهة "الجنتلمان" وقد جرفت ٢٥ طنا من "الهباب الأزرق" وحفرت

مليون طن من الطين الغرين في ستة أشهر. وكانت عملية نقل "الجنتلمان" إلى مكان العمل مشكلة في حد ذاتها. وكانت تستخدم في التنقيب عن الفحم في كنتوكي عندما أرسل في طلبها. وقد استغرقت رحلتها التي قطعت فيها ٢٠٠٠ ميل عبر أربع من البحيرات الخمس الكبرى ١٠٢ يوم، وفي إحدى النقط كان لابد من رفع أحد الكباري عن دعائمه حتى يتسنى للصندل الذي يحملها المرور من تحته وبينما كان العمال في ويلي دنديرو يكافحون الطين والغرين، كان العمال الذين يبنون أهوسة "بوهارنويس" في أعالي النهر بإقليم كويبيك يجابهون مشكلة مختلفة تمام الاختلاف. كانت أمامهم ثلاثة ملايين طن من حجر بوتسدام الرملي وهو صخر صلد بحيث أن عشرة أقدام منه يمكن أن تثلم من المثقاب، فإذا عملت فيه المجارف الكهربائية تآكلت أسنانها في ظرف ١٨ ساعة فقط. وكان لابد من تفجير الصخر، ولكن لكي يتيسر ذلك كان لابد أولا من حفر ثقوب يوضع فيها الديناميت. وكانت الحفاوة المعتادة التي تعمل بضغط الهواء تستغرق أسبوعا لإعداد ثقب طوله مائة قدم في صخور بوهارنويس. ولم يكن جدول توقيت خطة العمل ليسمح بهذا التأخير. وبدلا من ذلك حاول المقاولون تسليط ألسنة من اللهب على الصخر تفوق سرعتها سرعة الصوت خمس مرات فقطعت الصخر الصلد بحرارتها التي بلغت ٤٠٠٠ درجة كما تقطع السكين قطعة الزبد، ونفذت فيه بمعدل عشرة أقدام في الساعة بدلا من عشرين قدما في اليوم.

وهكذا كان الطين اللزج مشكلة في طرف، والصخر الصلب مشكلة في الطرف الآخر – والشتاء القارس في كل مكان. وكان لابد من أن يغلق الطريق البحري من نوفمبر إلى مارس كل سنة لأن النهر يتجمد في هذا الوقت لكن أعمال البناء كان لابد من أن تستمر خلال الشتاء حتى عندما كان مقياس الحرارة ينخفض إلى ٣٠ أو ٤٠ تحت الصفر. وكانت الأرض تتجمد هي الأخرى وإذ لمس أحد العمال معدنا بيده بدون قفاز التصقت يده متجمدة بسطح المعدن. كذلك تجمدت زيوت التشحيم في الجرارات وآلات الحفر. فإذا أمكن تشغيل حفارة، كانت حمولتها من التراب والحصي تتجمد عادة وتلتصق بحديد المغرفة لو يجوف العربات التي كانت المجارف تابعة فيها. ولحل هذه المشكلة كان جوف العربات يرش بالزيت لعزل المعدن عن حمولة المجارف. وعندما فشلت هذه الخطة، استخدمت حفارات صغيرة لتنظيف العربات من الأدران التي تتخلف عن الحفارات الكبيرة!

كذلك فإن صب الخرسانة في درجة حرارة صفر فهرنهايت كانت له مشاكله أيضا لأن الخرسانة تتجمد على طريقتها قبل أن تجف (بشدة)، لذلك فقد عمل المقاولون على الإحتفاظ بسخونة قزانات الخرسانة يرشها بنافورات البخار. وكانت عملية صب الخرسانة تتم كلما أمكن ذلك تحت خيام من المشمع والخيش المدهون بالقار. وكانت النيران متقدة تشيع الدفء في منطقة العمل ثم كانت هناك مشكلة جليد النهر. وعندما قارب

سد سباواي لونج سولت على الإنتهاء وهو يقع قبل هويس أيزنهاور مباشرة في أوائل عام ١٩٥٧ بدأ ماء النهر يتحول إلى جليد. ولكي يمكن إتمام العمل كان لابد من إقامة سد أمامي من جديد لكن الجليد حال دون ذلك كما أن الفيضان قد يرتطم في أية لحظة بالأجزاء التي تم بناؤها. وكان الجليد بعمق ٣٠ قدما، بسطح صلب بلوري يصبح رخوا بعد قدمين ونصف. وقد عمل فرانك ماتجكا – وهو مدير المشروع الذي يقوم به مهندسو القوى الأمريكية – على حل الموقف باستخدام بوابات السد الغير الكامل – فأغلق اثنين منهما فاحتجز ثلث ماء النهر ثم فتحهما بسرعة. وبتكرار هذه العملية بضع مرات في تتابع سريع نشأت تيارات حالت دون تحجر الجليد على جدران الفتحات. وبدأ الثلج في الذوبان، وفي ظرف ثلاث ساعات اختفى كلية.

وبعد ذلك بثلاثة أشهر واجه العاملون في السد مشاكل جديدة وكانت هذه المرة عبارة عن إعصار شديد يسمى "أودري" أحال شعر بعض المهندسين إلى شعر أشيب قبل الأوان. وكان سد لونج سولت، وهو سد التحكم الذي يبلغ طوله نصف ميل وينظم مرور الماء إلى توربينات سد موسى سوندرز الكهربائي، قد قارب على الإنتهاء، وكان يحتجز الماء على مستوى ٢٠٣,٥ قدم عندما جاءت أنباء الفيضان من أعالي النهر. وانخف ضغط بحيرة أونتاريو مسافة قدم، كما أخذت رياح سرعتها ٦٠ ميلا في الساعة تدفع مياه الفيضان في نهر سانت لورنس.

وزاد الطين بلة إذ أطاح الإعصار بأجهزة قياس سطح الماء الأوتوماتيكية، ولم يعد في وسع أحد على طول النهر أن يعرف على وجه الدقة مدى شدة الفيضان المنتظر.

وعملية توسيع النهر وتعميقه تقتضي في بعض الأحيان تطهيره من منحنيات وثنايا وشيد المهندسون سدودا أمامية وعملوا وراءها في شق قناة جديدة للنهر حيثما كان المجرى القديم منثنيا متعرجا أكثر من اللازم. وبعض السدود الأمامية الأخرى التي أقيمت تركت بعض أجزاء جوف النهر معرضة للجو مؤقتا. من ذلك أن الصخور الناتئة في شلالات لونج سولت ظلت معرضة لأشعة الشمس لأول مرة في التاريخ مدة تسعة أشهر، إلى أن غمرتها أخيرا مياه بحيرة سانت لورنس التي بلغت مساحتها ٣٨٠٠٠ فدان عندما تم بساء سدى موسى سوندرز ولونج سولت وقد نجم عن عملية نزح بعض أجزاء النهر لتجفيفها توطئة لأعمال البناء متاعب جمة على البر، ففي أثناء حفر قناة الطريق البحري المقابلة لمونتريال، أقيم حاجز مؤقت طوله ربع ميل على الضفة. وكانت نتيجة ذلك أن جفت الآبار في منازل السكان المطلة على النهر ! وقد أخذت السلطات الكندية المسئولة عن طريق سانت لورنس البحري تهدئ من روع السكان وابتاعت لهم صهاريج الماء وراحت تمدهم بالمياه المنقولة بالسيارات ذات الصهاريج بينما ظلت أعمال البناء مستمرة. وكان أشق جزء منفرد من العملية هو بناء المحطة الكهربائية في قطاع الشلالات

الدولية من المشروع. ففي شلالات لونج سولت، بالقرب من "إيروكواز بوينت" كان مستوى الماء ينخفض أكثر من تسعين قدما على مسافة قصيرة. وانحدار عنيف مثل هذا شئ مفيد دائما في توليد الكهرباء. وكان ثمة حاجة لبناء ثلاثة أبنية: سد للتحكم عند إيروكواز بوينت على الجانب الكندي، ومحطة كهرباء تربط بين جزيرة بارنهارت في وسط النهر بالضفة الكندية عند كورنوال بأونتياريو، ثم مفيض في الجانب الغربي والجنوبي من محطة الكهرباء للتحكم في عمق بحيرة المحطة وتصرف النهر فيما وراء مشروع الكهرباء.

ومن بين المشاكل أن بحيرة المحطة الكهربائية كان لابد من أن تغرق ١٨ ألف فدان من الأرض على الجانب الأمريكي، كما تغرق مساحة أكبر من هذه على الجانب الكندي. ولم تكن المنطقة أخدودا لا يسكنه أحد كما كان الحال في أقصى الغرب. فعلى الجانب الأمريكي كانت هناك ٢٠٠ مزرعة و٦٠٠ بيت، وعلى الجانب الكندي كان الإزعاج الذي يسببه تنفيذ المشروع أشد وأعنف. فقد كان يقع في طريق بحيرة المشروع سبع قرى يسكنها ٦٥٠٠ نسمة.

وقد اضطر سكان القرى السبع إلى الرحيل عن موطنهم، واضطلعت بمهمة تهجيرهم لجنة أونتاريو للطاقة الكهربائية الهيدروليكية (أو كما يختصر اسمها في العادة: أونتاريو هايدرو) فراحت تخير سكان هذه القري فتقول لكل منهم: إذا كنت تود أن تستمر في بيتك القديم،

فسنقوم بنقله لك على حسابنا. أما إذا فضلت فسنبني لك بيتا جديدا بدلا منه. ونقلت القرى السبع. وتذمر البعض، ورحب غيرهم بمقدم الممر البحري واستمرت حركة الرحيل على طول ثلاثين ميلا من الساحل الشمالي الذي كان سيصبح بحيرة سانت لورنس. وانتقلت ٥٢٥ بيتا كما بنيت عدة منازل جديدة. كذلك نقلت المدافن ومخازن الحاصلات وراح فريق من علماء الآثار يجوب المنطقة بحثا عن مخلفات التراث الهندي، في سباق مع الزمن للإنتهاء من مهمتهم قبل أن تغمر المياه المنطقة إلى الأبد، وبينما كانت القرى تنقل إلى بقعة مرتفعة انتقلت فوق العمال لبدء بناء السد ومحطة الكهرباء ومفيض الماء. وكانت جزيرة بارنهارت تقسم النهر إلى فرعين وعبر الفرع الشمالي وعرضه ميلان ونصف أقيم سدان أماميان كبيران. وبلغ ارتفاع أحدهما ٧٥ قدما وطوله ميلا واحدا فكان أضخم سد أمامي بني حتى ذلك الوقت. وأخذت المضخات تعمل ليلا ونهارا بين السدين لتجفف جوف النهر. وأقيم سد أمامي ثالث بالقرب من موقع المفيض المزمع انشاؤه فتمت به مهمة تحويل مجرى النهر كله إلى الفرع الجنوبي. وتم تجفيف الماء من شلالات لونج سولت لمسافة ٣٠ ميلا وأمكن بذلك أن تبدأ أعمال البناء. وبدأ صب الخرسانة لسد إيروكواز في نوفمبر ١٩٥٥. وكان المقصود بهذا السد المقام عند رأس الشلالات الدولية أن يتحكم في مجرى المادة القادم من أعلى النهر حيث بحيرة أونتاريو. وكان من طراز السدود الخرسانية ذات الثقل الذاتي المرتكزة على دعامات، وله ٣٢ بوابة وتعمل روافعه العمودية بمساعدة

أوناش متنقلة بقوة ٣٥ طنا. ويقوم سد لونج سولت سبيلواي مقام النصف الآخر من الكماشة التي تحيط بحيرة سانت لورنس. ويغلق سد لونج سولت البحيرة عند طرفها الخلفي، وتستخدم بواباتها الثلاثون التي يبلغ عرض كل منها خمسين قدما لحجز مياه الخزان الذي تستمد منه محطة الكهرباء حاجتها. ومحطة الكهرباء ذاتها عبارة عن بناء طويل منخفض يمتد ٣٣٠٠ قدم من جزيرة بارنهارت إلى الضفة الشمالية من النهر بالقرب من كورنوول بأورنتاريو. ورغم أنها بناء واحد فإن لها اسمين. فجزؤها الواقع على الجانب الأمريكي من الحدود الغير المرئية في النهر يسمى سد كهرباء روبرت موسى، تكريما لرئيس إدارة الكهرباء بولاية نيويورك، أما النصف الكندي من محطة الكهرباء فيحمل اسم محطة روبرا سوندرز سانت لورنس، تكريما لشخصية كندية مهمة. أما السد فيعرف على وجه عام سد كهرباء موسى – سوندرز. ولسد الكهرباء ٣٢ توربينا تمر خلالها مياه سانت لورنس المحتجزة بعد أن تغادر مفيض سد لونج سولت. وتنتج مولداتها مليوني كيلوات من الكهرباء، وتأتي في ضخامتها بعد مولدات سد جراند كولي مباشرة. وهذا المشروع الكهربائي بأجزائه الثلاثة، وهي سد إيروكواز، وسد لونج سولت سبيلواي، وسد كهرباء موسى سوندرز تكلف تنفيذها ٦٥٠ مليون دولار – أي أكثر من تكاليف الجزء الخاص بالملاحة في مشروع الممر البحري بمبلغ ١٨٠ مليون دولار. وقد انتهى العمل في السدود الثلاثة في أوائل عام ١٩٥٨، وافتتحت الشبكة الكهربائية في إحتفال مهيب، كان هذا في

أول يولية سنة ١٩٥٨ في مناسبة كندية قومية هامة تعرف بيوم الدومنيوم. كان هناك أسد أمامي واحد يحجز مياه سانت لورنس الهادرة. ووضع في جسم هذا السد ثلاثون طنا من الديناميت، واجتمت جماهير غفيرة على الضفتين، وبعد حفل تدشين رسمي نسف السد المؤقت بالديناميت وتطايرت في الجو شظايا ضخمة من هذا السد الأمامي المؤقت البالغ طوله ٦٠٠ قدم. وتفجر النهر عاليا متدفقا خلال الثغرات التي أحدثها النسف واكتسح أمامه ما تبقى من السد. وتدفقت المياه بسرعه واستغرقت ساعة من الزمن حتى وصلت إلى جدار سد محطة الكهرباء. وبدأت بحيرة سانت لورنس تمتلئ بالماء فتغمر موقع الشالالات القديمة وتغرق ضفاف النهر مواقع القرى التي هاجر منها أهلها واستغرق ملء البحيرة ثلاثة أيام. وفي الرابع من يولية مرت أول سفينة خلال الأهوسة الجديدة، وهي سفينة خفر السواحل الأمريكية "مابل" التي كانت تبحر شرقا وبعد ذلك بوقت قصير عبرت الممر السفينة التجارية الكندية "هامبردوك"، فكانت أول سفينة تبحر غربا خلال الأهوسة. وخلال الأسبوع الأول استخدمت هذه الأهوسة ٢٦٣ سفينة تمثل عشرة دول أما عن الطاقة الكهربائية فقد بدأت تسري في الشبكة في الخامس من يولية، إذ أخذت ١٦ توربينا أمريكيا و١٦ توربنا كنديا تدور مغذية الضفتين بالطاقة الكهربائية. ويستخدم نصف نصيب الولايات المتحدة من هذه الطاقة في مدينة ماسينا المجاورة. كما حدث في حوض نهر كولومبيا، جاءت صناعة الألومنيوم لاستغلال الكميات الوفيرة من

الكهرباء. وكانت شركة الألومنيون الأمريكية تدير فرنا لإستخلاص هذا المعدن منذ عام ١٩٠٣، أما الآن فقد انضم إليها مصنع تكلف بناؤه ٨٨ مليون دولار بنته شركة معادن رينولدز. لكن خطوط الفولت العالي الهائلة تنقل الطاقة الكهربائية التي تولد من الطريق البحري إلى ما وراء مدينة ملسينا أيضا إلى وادي الموهوك، بل إلى فيرمونت في الغرب. ومرة أخرى يسخر نهر هادر لخدمة الإنسان.

لا شك في أن السدود أعمال مفيدة، يشهد بذلك كل من يذكر الأيام السالفة في وادي تنيسي. وكل إنسان يسكن حتى مسافة ألف ميل من سد جراند كولي يلمس مدى قيمة السدود. والمزارعون في وادي إمبريال بكاليفورنيا يلهجون بالثناء على سد هوفر. ثم إن الرواج والخير اللذين يستمع بهما ملايين الأمريكيين يتوقفان مباشرة على السدود العالية الرائعة التي تحكمت في الأنهار في أنحاء البلاد.

وثمة مشاكل

لكن السدود يمكن أن تسبب المتاعب أيضا، فإن لها مشاكلها ومضارها، وهذه المشاكل والمضار في أعين بعض الناس تجب مزايا بدرجة تحدوهم إلى إستنكار فكرة بناء السدود كلية ولعله يحسن بنا أن نلقي نظرة على هذه المظاهر السلبية للسدود، وتقف على الجهود التي تبذل لتذليلها.

مشكلة الأسماك

من أغرب الظواهر الطبيعية، تلك الطريقة التي يجئ بها سمك السلمون إلى مواطنه لكي يضع بيضه، ففي كل عام في أواخر الصيف وأوائل الربيع، تغادر الملايين من أسماك السلمون التي تعيش في البحار المحيط الهادي متجه في أسرابها إلى مصب نهر كولومبيا. وهي تقام التيار وتسبح جاهدة في أسراب متلألئة إلى الأماكن التي فقست فيها وقد تمر سنتان أو أربع أو ست على فقس بيض السمك في أعالي الأنهار الجبلية لكنها، بصورة غامضة، تعود إلى مكان مولوها بغريزة لا تخطئ متحدية إدراك الإنسان. وعندما تصل إلى المكان الذي فقست فيه، تتوقف وتضع الإناث بيضها بعد أن تخصبها الذكور. ثم إن أسماك السلمون العجوز وقد أنهكتها متاعب الرحلة المضنية، تنساق مع االتيار في ضعف عائدة أدراجها إلى حيث تموت. أما الأسماك الصغيرة أو

فقس البيض فإنها تعود إلى المحيط الهادي كي تقوم بنفس الدور بعد دورة كل سنوات قليلة. وتسبح أسماك السلمون مئات الأميال إلى أعالي النهر لتعود إلى حيث فقست. من بيضها. وهي تجتاز الشلالات نطا، شاقة طريقها في تحد ظاهر لقوى الجاذبية وعودة السلمون هذه ليست من أساطير الصيادين. فقد ثبت من تجربة أجرتها مدرسة مصايد الأسماك بجامعة واشنطون سنة ١٩٤٨ أنها حقيقة لا خيال فقد وضع البيض المخصب لأسماك السلمون الفضية في أحواض مصايد الأسماك بجامعة سياتل. وبعد ١٨ شهرا أطلقت الأسماك الصغيرة التي فقست من البيض بعد وضع علامة عليها للتعرف عليها فيما بعد، في قناة بحيرة واشنطون. ومن هناك اتخذت طريقها إلى بحيرة يونيون ثم منها إلى بوجيت ساوند ثم إلى البحر وبعد ذلك بثلاث سنوات، عادت ٧٥ سمكة سلمون فضية بالغة تحمل العلامة التي وضعت عليها إلى أحواض مصائد الأسماك كي تضع بيضها، وبذا تمت الدورة.

والأسماك التي لابد أن تعود إلى مكان فقسها تسمى "أنادروماس" وسلمون المحيط الهادي ليست هي الأسماك الأنادروماس الوحيد بطبيعة الحال فإزاء الساحل الشرقي يعيش سلمون المحيط الأطلسى وسمك "الشاد" التي تعود هي الأخرى إلى أعلى النهر لتضع بيضها، إلا أنها لا يموت بعد أن تضع بيضها. وسمك التراوت الذي يشبه اللوت برأسه القوية يعيش في المحيط الهادي معظم الوقت، لكنه يعود إلى الأنهار

على فترات غير منتظمة. وهذه كلها أسماك لها قيمتها التجارية، وتقوم عليها صناعات هامة. والأسماك الأندروماس العائدة إلى أوطانها تستطيع أن تقفز فوق الحواجز بسهولة بشرط أن تكون هذه الحواجز منخفضة. لكن السلمون لا يمكنه بطبيعة الحال أن يقفز فوق جدار سد جراند كولي الذي يرتفع ٥٥٠ قدما. وحتى قمة سد بونفيل المنخفة جدا عن ذلك تعتبر حاجزا منيعا في وجه السلمون الذي تدفعه غريزته إلى العودة إلى أوطانه في أعالي الأنهار.

وفي السنوات الأولى من الإقبال على بناء السدود، لم يشغل أحد باله بالأسماك العائدة إلى أوطانها. ولم تكن عاداتها معروفة أو مفهومة تماما. وكانت وجهة النظر العامة أنها "سوف تضع بيضها في أي مكان آخر إذا لم تستطيع أن تجتاز السد" لكنها لم تضع بيضها في أي مكان آخر. وعندما يحول سد دون عودة الأسماك الأندروماس لتضع بيضها، كانت تتجمع بعشرات الآلاف عند قاع السد، محاولة في يأس القفز فوق هذا العائق الذي أقامه الإنسان. وكانت تنط وترتطم بالسد حتى تموت من فرط الإجهاد.

ورأى أصحاب مصايد السلمون بوار تجارتهم في الأفق. فإذا لم يستطيع السلمون أن يضع بيضة، فإنه يموت وينقرض وتموت معه وتنقرض صناعة حفظ السلمون في الغالب وكان لابد من البحث عن طريق ما لإجتياز السلمون السد إلأى أعالي النهر حيث المكان الذي وضع فيه أسلافه البيض. وكانت نتيجة ذلك إبتكار مدرجات السمك.

فكما تستطيع السفن التي تمخر النهر أن تجتاز سد باستخدام هويس ملاحي، تمكن سلسلة من "الأهوسة" الخاصة السمك من اجتياز السد. ويقام لهذا الغرض مجرى منفصل، يتكون من سلسلة من السدود الصغيرة مكونة صفا من البحيرات الصغيرة متدرجة من أسفل النهر فيما وراء السد الكبير إلى مستوى ماء الخزان. وإذ يدخل السلمون أول حوض أو "درج" في السلم عند قاع السد يكون في وسعة القفز من حوض إلى حوض حتى يعتلي السد. ثم يكون في وسعه أن يستأنف الرحلة عبر الخزان إلى حيث يضع البيض. ثم بعد ذلك يكون في وسع صغار السمك أن يعود إلى البحر خلال نفس الطريق هابطا الدرج. كذلك يكون في وسع أصناف السمك الأندروماس التي لا تموت كبارها بعد وضع البيض أن تعود هى الأخرى إلى البحر عن طريق الدرج.

وكانت أول نماذج مدرجات السمك أصلح نظريا منها عمليا. فقد بدأ أن السمك يفضل ان يدور حول نفسه في الماء الهادر تحت المفيض، بدلا من الدخول في الدرج. وقد ذللت هذه الصعوبة بتصميم دقيق يضع درج السمك في المكان الذي يحتمل أن يجتذبه أكثر من غيره. لكن ما أن يكاد السمك يجد نفسه في الحوض حتى يبدو مذعورا غير مطمئن. وقد كان الماء البطئ الحركة غريبا عليه ولم تساعده غريزته في هذا الموقف على معرفة إتجاه موطنه، وآثر التجمع في الأحواض السفلى دون أن يقفز منها إلى العليا.

وأنفقت ملايين الدولارات على أبحاث مدرجات السمك. وأدخلت عليها. تحسينات جعلتها أكثر إجتذابا للسلمون بما يشبه جو الشلالات التي اعتاد عليها وكان من أوائل مدرجات السمك التي حققت نجاحا حقيقيا تلك التي أعدت في سد بونفيل بعد بورتلاند باثنين وأربعين ميلا بأوريجون على نهر كولومبيا. وهناك في الواقع مدرجان للسمك في بونفيل، أحدهما على طول ضفة النهر على جانب ولاية واشنطن والآخر على جزيرة برادفورد على جانب أوريجون من السد. لكن أسماك السلمون التي تزدري هذين المدرجين، أمامها طريق ثالث لإجتياز السد، فهناك هويس خاص بالسمك يدار بالكهرباء، على نفس النظام الذي يعمل به هويس الملاحة. ويدخل السمك الهويس سامجا فيمتلئ به الماء فيسبح خارجا عند قمة الطرف الآخر.

وقد بني سد ماكناري على نهر كولومبيا حديثا بالنسبة لسد يونفيل. وتتضن مدرجات السمك به تحسينات أدخلت على تصميم بونفيل. وقد تكلف بناؤها وحدها ٢٨ مليون دولا، مما يدل على مدى الإهتمام بمزاج السمك الأندوماس. ومدرجات السمك في سدماكناري عبارة عن ممرين متماثلين من الخرسانة المسلحة طولهما ٢٢٠٠ قدم، ومكونين من سلسلة من الأحواض عرض كل منها ٣٠ قدما وطوله ٢٠. وتفصل الأحواض عن بعضها سدود لا يتجاوز طولها قدما واحدة. وعلى جانب واشنطون من النهر، زود مدرج السمك بهويس خاص. ومدرجات

ماكناري تزخر بالسمك ومدرجات السمك ليست شيئا عمليا دائما من جهة النظر الهندسية. وفي مثل هذه الحالات لابد من اتخاذ خطوات أخرى لحماية السمك.

وقد واجهت شركة كهرباء أيداهو مشاكل سمكية عندما بدأت تنشئ السدود في منطقة هلزكانيون من نهر سنيك، وهو أحد روافد نهر كولومبيا. وكانت هذه الشركة الكهربائية الخاصة تبني سلسلة من ثلاثة سدود. وعندما أشرف السدان الأولان على الإنتهاء، وهما سد براونلي في أعلى النهر وأوكسبا وفي أسفله، بات واضحا أن صغار السمك التي فقست في أعالي النهر كانت تهلك بعد أن ينهكها القفز عبثا فوق مفيض براونلي في طريقها إلى البحر. وبدلا من أن تقوم شركة الكهرباء ببناء مدرج للأسماك لتجتاز به علو السد البالغ ٢٧٧ قدما، فضلت أن تنفذ مشروعا أكثر تطورا، بإصطياد السمك أمام السد ونقله بالسيارات والأنابيب إلى نقطة تبعد ١٥ ميلا وراء السد بعد أوكسباو. ويصاد السمك في شبكة ضخمة من الصلب والبلاستيك يبلغ عمقها ١٢٠ قدما وطولها نصف ميل مثبتة عبر نهر سنيك. وتثبت الشبكة في مكانها بحبال من الصلب السميك، كما تشد إلى ٥٠ عوامة طول كل منها ٣٨ قدما وعرضها ١٧ قدما لتبقى طافية. وثقوب الشبكة ضيقة بدرجة تحول دون مرور أدق صغار السمك حجما خلالها. والشبكة تمنع وصول السمك إلى التوربينات التي تفرمه، كما توفر عليه الإستقتال في القفز فوق فتحة الفائض، وتسوقه إلى ثلاثة

أنواع من المصائد التي تفرزه طبقا لحجمه خلال فتحات متدرجة في اتساعها. ويساق صغار السمك إلى أنبوبة من المطاط سعة ٨ بوصات تحمله إلى سيارة ذات صهريج خاصة منتظرة على الشاطئ. أما الأسماك الأكبر حجما فترفع باليد إلى أحواض على قوارب ومنها إلى سيارات ذات صهاريج. وتنقل الأسماك على السيارات لتطلق بعيدا وراء السد حيث لا يحول شئ دون وصولها إلى البحر. ويوجد في سد أوكسباو مصيدة أخرى تصيد الأسماك المتجهة إلى أعالي النهر لتضع البيض. وهذه المصيدة مجرد سلم بسيط للسمك مزودة بقادوس عند قمتها. وينزل السمك البالغ في القادوس وينقل إلى الأحواض في السيارات. ويستمتع برحلة في السيارة مسافة ١٥ ميلا إلى أعالي النهر حيث يطلق بعد أن يتجاوز سد براونلى. وينفق أكثر من مليون دولار كل سنة للاحتفاظ بهذا النظام من مصايد السمك على نهر سنيك.

مشكلة رواسب الطين

تقرب بحيرة ميد من نهاية محتومة. وإذا كان اليوم هذا الخزان الفسيح الذي يقع أمام سد هوفر صافيا عميقا جميل المنظر، فإن يمتلئ بالطين والرواسب تدريجيا. وهو على ضخامته لن يعدو أن يكون مستنقعا مليئا بالوحل قرابة عام ٢٢٢٥ ولن يكون لسد هوفر عندئذ أي فائدة في توليد الكهرباء ما لم تتخذ الخطوات التي تحول دون تجمع هذه الرواسب.

ويصدق هذا على كثير من الخزانات أمام السدود الشهيرة. فعند أعالي النهر حيث لا يعدو أكبر الأنهار أن يكون مجرد جدول ماء سريع الإندفاع ينهمر الطين في الماء. وتجرف المياه حبيبات التربة، وينمو الجدول الصغير ويتضخم حتى يصبح غديرا ثم يتضخم نهيرا ثم فرعا من أفرع أو روافد النهر ثم نهرا هادرا متفجرا مثل الكولورادو – وفي كل خطوة في الطريق يجمع المزيد من الطمي والرواسب وينقلها معه صوب المصب.

وكلما قوي النهر واشتد عودة تضخمت الرواسب، فينضم إلى تيار الماء لا حبيبات الرمل فقط بل كذلك الحصى والأحجار والصخور، ثم يجرف التيار أوراق الشجر ثم أغصانها ثم الجذوع بأكملها. أما عواصف السحب المتفجرة المفاجئة التي تحدث في المناطق الصحراوية فينجم عنها سيول تقذف بكميات ضخمة من الركام في النهر. وتتخذ سبيلها فيه إلى أن تتوقف أمام جدار السد الخرسانية ويفرغ النهر حمولته في الخزان أمام السد. وتمر المياه الخالية من الرواسب خلال أنفاق التوربينات أو فوق فتحة تصريف الفائض، وتستمر في سيرها إلى المصب بينما تتجمع المخلفات في الخزان. وبحيرة "ميد" من الضخامة بحيث يستغرق ملؤها بالرواسب وقتا طويلا. وهناك خزانات أخرى تمتلئ بصورة أسرع، وكلما امتلأ الخزان بها تضاءلت قدرته على توليد الكهرباء. ولعل بحيرة رزفلت هي الوحيدة بين الخزانات الضخمة التي لا تؤرقها مشكلة الرواسب، وتقع أمام سد جراند كولي. فالأنهار الجبلية التي تغذي نهر

كولومبيا تسقط رواسبها في الطريق في بحيرات أعالي النهر قبل أن تصل إلى الخزان. ومياه بحيرة روزفلت أصفى من أي بحيرة أخرى من بحيرات السدود الكبيرة.

وهناك سدود أقل من ذلك حظا. من ذلك سد "إلفانت بت" على نهر ويوجراند، بنيو مكسيكو الذي أقيم عام ١٩١٦ لخزن مياه الرى والتحكم في الفيضان وتوليد الكهرباء. وتدل الدراسة التي أجريت سنة ١٩٤٠، على أن الرواسب تجمعت في خزانه بصورة كبيرة أفقدته نصف مليون فدان عن كل قدم أنقصت من قدرته على خزن المياه. وظل ريوجراند يرسب مخلفاته حتى تكون منها سد طبيعي في الخزان أمام النهر، مكونا بحيرات طبيعية جديدة، ليست لها أية قيمة في الري، وأثارت مشاكل متعلقة بالتحكم في الفيضان خاصة بها. وكان من الضروري بناء حواجز ضخمة لحماية الثروة في أعلى النهر من هذه الخزانات الجديدة التي فرضت وجودها. ومشكلة الرواسب النهرية تلقي عناية ودراسة مستمرتين. وقد رأينا في الفصل الذي عرضنا فيه لسد هوفر كيف أن سلسلة من السدود أسفل النهر هي: ديفز، وباركر، وإمبيريال، تعمل متضافرة لفصل الرواسب من الكولورادو فيما قبل سد هوفر، بتكاليف قدرها مليون ونصف مليون دولار في سد إمبيريال للاحتفاظ بالقناة الأمريكية الخالصة، وبقناة وادي جيلا خاليتين من الرواسب.وإقامة الأجهزة التي تفصل الرواسب تعتبر من الحلول الباهظة التكاليف لإبطاء

انطماس الخزانات. ولعلنا نذكر أن النهر عند سد إمبيريال قد قطعت رواسبه فعلا بإقامة ثلاثة سدود قبله. وأجهزة فصل الرواسب لا تزيل إلا الطبقة الأخيرة فقط. وإزالة رواسب الكولورادو أمام سد هوفر تقتضي إنفاق عدة مئات من ملايين الدولارات.

ومن طرق التخلص من الرواسب العمل على اكتساحها خلال فتحات تصريف السد. وكتير من السدود المقامة على الأنهار الكثيرة الرواسب، مزودة بفتحات لتصريفها، إذ تفتح من آن إلى آخر ليندفع خلالها الماء حاملا معه ما ترسب في الخزان من أدران. ومن أهو السدود المصممة بهذه الطريق سد "إيريل إمدا" على نهر "أويد أوجريون" في الجزائر. وقد قدر المهندسون الفرنسيون الذين بنوا هذا السد أنه في الظروف العادية سوف يفقد الخزان نصف قدرته خلال الأربعين سنة القادمة. ولكي يحولوا دون حدوث ذلك صمموا فتحات لاكتساح الرواسب في السد تفتح كل أسبوعين بحيث أنه عندما تندفع المياه خلال فتحات التصريف تكتسح منها مئات الآلاف من أطنان البقايا والأدران كل سنة. ويطلق مهندسو الهيدروليكا على هذه الطريقة عملية النقل بالطفو (التعويم). لكن هذه الطريقة لا تعالج إلا المواد الخفيفة الوزن التي تنتقل على طول الطريق إلى جانب السد من الخزان، أما معظم الرواسب الحقيقة فهي أثقل وزنا من أن تسير كل هذه المسافة. ويرسبها النهر عند مدخل الخزان. وكي يحل المهندسون مشكلة هذا

السد الطبيعي في مدخل الخزان بنوا في "إيريل إمدا" سدا إضافيا بمعرفتهم، سدا صغيرا عبر النهر بالقرب من فم الخزان.

وهذا السد يكون خزانا صغيرا الحجم تصرف مياهه على فترات في الخزان الرئيسي بفتح بواباته. وعندما تندفع هذه المياه إلى الخزان الرئيسي، تسير موجه شديدة تزيب الرواسب المتراكمة في مدخله وتدفعها صوب السد الرئيسي حيث تكتسح خلال فتحات التصريف. وفكرة فتحات التنظيف هذه فكرة لا بأس بها للتخلص من الرواسب، وتستخدم في خزان أسوان القديم وغيره من الخزانات في أنحاء العالم. لكن لها رد فعل سيئا واحدا، ذلك أنه عندما يفتح الخزان لتنظيفه من رواسب الطين ينخفض إنتاج الكهرباء. فالماء الذي ينبغي أن يستخدم في إدارة التوربينات يستنفد في تنظيف الخزان بدلا من ذلك.

وهكذا فإن الطرق المختلفة للتخلص من الرواسب التي تستخدم الآن تكون باهظة الثمن، إما بمقياس الكهرباء المفقودة أو المال الذي ينفق في تشغل المضخات وكاسحات الطين. أما أحسن طريقة للتخلص من الرواسب كما يتفق جميع المهندسين، فهي أن يعالج أمرها قبل أن يجرفها ماء النهر. ورواسب الطين أصلها في الحقيقة قطعة من الأرض. ولما كانت الأرض في حوض النهر قاحلة جرداء فقد كان من السهل تعريتها. لكن إذا أمكن إيقاف هذه التعرية، فإن مشكلة رواسب الطمي لن توقف فحسب، بل إن مساحة جديدة من الأرض تصبح صالحة

للزراعة أيضا. فالزراعة على طول أراضي حوض النهر من الطرق السليمة لعلاج رواسب الطين والغرين في مهدها. والحبوب والحشائش والأشجار – وأي مزروعات لها جذور – من شأنها أن تعمل على تماسك التربة وتحول دون انسيابها إلى مجرى النهر. وطبيعي أنه لا يمكن زراعة كل منطقة، فالأخاديد الصحراوية الجرداء لا يمكن أن تتحول بسهولة إلى حدائق غناء. على أنه مهما كان أمرها فإنه يمكن الحد من عوامل تعرية التربة بتسوية الأخاديد العميقة بالهراسات وإقامة الحواجز بينها بالأتربة والأحجار حتى إذا ما هطلت الأمطار فإنها لا تغترفها وتنفذ فيها كأنها سكاكين. والمعركة ضد التعرية وإنهيار التربة ترتبط إرتباطا وثيقا بمعركة صيانة الخزانات. وبرنامج الإحتفاظ بالتربة تعتبر جزءا حيويا من النظرة الهندسية الشاملة في بناء السدود. وفتحات التنظيف وكاسحات الطين الآلية يمكن أن تساعد في العملية، لكن العمل الحقيقي لعلاج أمر الرواسب النهرية إنما مجاله في الإحتفاظ بالتربة – الإحتفاظ بالتربة بعيدا عن متناول النهر في المقام الأول.

مشاكل النكبات

يحاول المهندسون بناء السدود لتبقى مع الزمن. وكل من عمل في بناء سد يرجو أن يعمر سده كما عمرت أهرام مصر. ولكن السدود في بعض الأحيان تنهار أمام الضغط الدائم للماء الذي تحجزه أمامها. ومثل هذه النكبات لحسن الحظ كانت نادرة نسبيا في القرن الذي نعيش فيه.

وكانت السدود في غابر الزمن كثيرا ما تنهار وتنجم عنها الكوارث التي ينكب بها الناس الذين يعيشون في أسفل النهر أو جوانبه الجافة. وكثيرا ما كانت هذه الحوادث نتيجة الإهمال في صيانة السدود خلال فترة تمتد أجيالا متعاقبة. وربما كان إنهيار سد مأرب في اليمن نتيجة الإهمال سنوات طويلة.

واليوم تبنى السدود بطريقة علمية أكثر من ذي قبل ولا تترك لتمتد إليها يد الإهمال. ومعظمها قوي ثابت البنيان بقدر ما يمكن أن يتيسر ذلك في العالم. ومهما حاول نهر كولومبيا بأمواجه المتلاطمة فإنه لن ينجح أبدا في زخرفة تلك الكتلة الضخمة التي تزن ٢٠ مليون طن من سد جراند كولي قيد أنملة عن أساسه. كذلك لن يستطيع نهر كولورادو الهادر التأثر أن يطيح بسد هوفر يدفعه بطولية واحدة.

هذا هو ما نثق به على الأقل. لكن الثقة التي وضعت في سدود أخرى ردت عليها الطبيعة أحيانا بالمآسي القياسية. فلا شك أن سكان مدينة "ريفالد يلاجو" الذين يعيشون في واد سحيق بشمال غرب أسبانيا كانوا يستشعرون نفس الثقة بقوة سدهم التي يستشعرها أهل واشنطن إزاء سد جراند كولي. وكان السد الأسباني هو سد "فيجادي تيرا" الذي بنته شركة موتكإيريل الكهربائية الهيدروليكية، على ثلاثة أميال فوق قرية ريفالد يلاجو وبلغ السد سنتين من العمر، وكان يقوم على ١١٢ قدما من بلاط خرسانية وحوائط التقوية المبنية.

وظل النهر طوال العامين يحتجز أمامه مياه نهر تيرا، وأخذ يجمع خزانا طوله ميلان ونصف. لكنه لم يكن قد امتلأ بعد، ولذلك فإن قدوته لم تتعرض قط لأختبار حقيقي كامل. وهطلت الأمطار الغزيرة في إقليم رامورا كله خلال شتاء ١٩٥٨ – ١٩٥٩ وفاض نهر تيرا وزاد سرعة وارتفاعا، وأخذ خزان فيجادي تيرا يمتلئ نتيجة لذلك. وفي مساء التاسع من يناير ١٩٥٩ بلغ الخزان كامل سعته. وبعد منتصف الليل بوقت قصير فاضت المياه على قمة السد وانهارت سبع عشر دعامة من دهات السد الحجرية (حوائط التقوية) الثماني والعشرين تحت ضغط الماء. وما هي إلا لحظة انهارت مسافة ٣٠٠ قدم من طول السد واندفعت خلالها كتلة ضخمة من الماء وهبطت منحدرا ارتفاعه ١٧٠٠ قدم مكتسحة المدينة النائمة، التي اجتاحتها دفعة واحدة كتلة ٢٣٠ مليون قدم مكعبة من المياه. وغمر الطوفان مدينة ريفالديلاجو واقتلع أعمدة التلفزيون وتنأثرت كما تتناثر عيدان الثقاب، وخلال لحظات غرق ١٢٣ قرويا، وفر بضع مئات ممن كانوا أكثر منهم حظا إلى المرتفعات قبل أن يبتلعهم السيل.

وقد يحدث في بعض الأحيان أن ينهار سد يشاء الله له أن ينهار بشكل لا يمكن أن يتنبأ به مهندس. ويتحرى بناة السدود ألا يقيموها في مناطق مشهورة بتعرضها للزلازل الأرضية مثلا. وتجرى الإختبارات الدقيقة للتأكد من ثبات الأرض قبل أن يقام عليها السد. ومع ذلك فقد يحدث ألا تكون الهزات الأرضية والزلازل متوقعة ففي مونتانا في صيف عام

١٩٥٩ تعرض سد هبجين على نهر ماديسون لفعل الزلزال الذي هو "يلستون ناشيونال بارك" هزا عنيفا. وتصدع السد البلغ ٤٤ عاما من عمره، وهو من النوع الترابي ويبلغ طوله ٨٧ قدما، وتدفقت المياه من خلال الشوق، لكنه صمد في مكانه رغم ذلك إلى أن أمكن إصلاحه. وسد آخر في مثل هذه الظروف ربما كان قد انهار وتدفق فيضه المحتجز فأغرق الوادي الحزين وهذا الزلزال نفسه قد بني في واقع الأمر سدا على بعد سبعة أميال وراء سد هبجين. فقد إنزلق جرف حجمه ٢٠ مليون ياردة مكعبة من الأرض إلى نهر ماديسون فتكونت أمامه بحيرة عمقها مائة قدم. وسارع مهندسو الجيش إلى شق مجرى تصريف عبر قمة المنزلق للسماح بمرور مياه النهر وإلا تجمع خزان أمامه، خزان غير ثابت تماما يمكن أن ينهار بسهولة مرة أخرى وتنجم عنه عواقب وخيمة.

وكان عام ١٩٥٩ عاما سيئا جدا للسدود. فقد بدأ بنكبة سد أسبانيا وانتهى بنكبة أخرى أشد عنفا في فرنسا. ذلك أن سد ملباسيت وهو على شكل قناطر ويرتفع ٢٠٠ قدم على نهر ريران، وقد تم بناؤه سنة ١٩٥٤، انهار في ديسمبر سنة ١٩٥٩. واقتحم السيل الجارف مدينة فريجوس السياحية على شاطئ اللايفييرا وقضى على ٤٢١ شخصا. وقد قرر المهندسون الذين بحثوا أسباب الكارثة أن الأساس الصخري قد تحرك على طبقة ضئيلة من الطمي في الدعامة الشمالية مما جعل السد غير ثابت وعرضه للتأثير بأي ضغط شديد.

مشكلة القنابل

من الحجج التي يسوقها أعداء فكرة إقامة السدود الكبيرة أن السدود تزيد من إحتمالات الخطر أيام الحرب. من ذلك مثلا أن إيلمار بيترسون مؤلف كتاب "حماقة السدود" كتب يقول: "في عصر القنبلة الذرية... يعتبر كل سد كبير يقوم في منطقة آهله بالسكان بمثابة حكم إعدام قد ينفذ بسهولة ودون سابق إنذار. إنه كالبطة الساكنة بالنسبة للصياد... إن تضخم قوة الدمار الذي أمكن تحقيقه بتحطيم الذرة فحل محل مادة ت. ن. ت. أو غيرها من المفرقعات المعروفة، إنما يجعل من وجود السدود خطرا شديدا يتهددنا في زمن الحرب أكثر من أي وقت مضي... إن قنبلة ذرية واحدة حتى لو ألقيت بصورة غير مباشرة كفيلة بأن تلحق بها الضرر بسبب خاصية عدم قابلية انضغاط الماء.

لكن أحسن رد في وسع مهنة الهندسة أن ترد به هذا المنطق هو أن من الحماقة أن نحرم أنفسنا من المزايا السدود الكبيرة لا لشئ إلا لأنها تمثل أخطارا في زمن الحرب. فمهما يكن من أمر فإن قنبلة ذرية تسقط في قلب مدينة نيويورك لا مفر من أن تسبب هي الأخرى الكثير من الخراب والدمار، لكن أحدا لا يقترح أن نتوقف عن المعيشة في المدن ونهاجر إلى التلال يقضنا وقضيضنا. كلا، فإن خطر الذرية يهدد كل جانب من جوانب حياتنا، لا مجرد خزانات السدود. وهكذا فإنه دون إنكار للأضرار الكبرى التي يمكن أن تنجم عن تحطيم السدود

بالقنابل الذرية، لابد من المضي في بنائها، لأننا في حاجة إليها – ولابد أن نهب جهودنا لقضية استتباب السلام الدائم حتى لا تسقط القنابل على الإطلاق. أما التوقف عن بناء السدود لأنها تمثل أخطارا في وقت الحرب فإن معناه إعاقة اقتصادياتنا دون ما حاجة إلى ذلك. إنه يكون أشبه شئ يرفض ركوب السيارات لأن بعض الناس قد أصيبوا في حوادث التصادم. ولا يمكننا أن نعيش في خوف ولابد من تقبل شئ من المغامرة إذا كنا نريد التقدم. وإذا كان لابد لك من أن تسافر من نيويورك إلى شيكاغو فإن ركوب القطار أو الطيارة أسرع من السير على الأقدام، وإن لم يضاهه من حيث الأمن والسلامة. فإذا كنا نحتاج إلى طاقة الكهرباء ونريد أن نتحكم في الفيضانات ونوفر ماء الرى لمزارعنا، فلابد لنا من بناء السدود متقبلين الأخطار التي تنجم عنها.

وإذا قاد المرء سيارته في حرص وحذر، تجنب الكثير من حوادث السيارات وإذا بذلنا كل الجهد من أجل السلام، فإن في وسعنا أن نأمل في تجنب أخطار الفضيانات التي تنجم عن القنابل مما يحذرنا منه المذعورون الواجفون.

سدود أخرى

في الفصول السابقة عرضنا بالتفصيل لبعض السدود الشهيرة مثل هوفر، وجراند كولي، وروزفلت، ونوريس. ولكي تتكون لدينا فكرة عن مختلف السدود يحسن بنا أن نلقي نظرة سريعة على بعض السدود الأخرى القائمة اليوم، ثم نستطرد فنلقي نظرة على بعض السدود التي يجرى بناؤها الآن أو يقترح بنؤها غدا في مختلف أجزاء العالم ولعل من المناسب أن نتوقف هنا لحظة للنظر في مختلف أنواع السدود، ويرى معظم المهندسون أنها تنقسم إلى سبعة نماذج عامة، ثلاثة منها قديمة الأصل وأربعة لم تستخدم على وجه عام إلا خلال المائة سنة الأخيرة. والأنواع الثلاثة القديمة للسدود هي (١) السدود الترابية، (٢) السدود الركامية، (٣) سدودو البنيان الصلد التي تعتمد على الثقل الذاتي (المصمت).

والسدود الترابية تبنى من تربة الأرض بعد هرسها ودكها. وتبنى في المناطق التي لا يكون الأساس فيها متينا بدرجة يتحمل فيها ثقل السد الخرساني، وحيث تستخدم الأتربة بسهولة كمادة للبناء أكثر من الحجر أو الصخر. وكانت بعض أكبر سدود العالم القديم سدودا ترابية، وكما سنرى حالا فإن بعض سدود اليوم العملاقة من نفس الطراز. وتتكون سدود الركام الصخري من الصخور السائبة التي تتراكم في جنوف النهر.

وغالبا ما تدعم الواجهة الأمامية من هذا النوع من السدود بطبقة من الخرسانة المسلحة حتى لا ينفذ منها الماء.

ولعل سدود البنيان الصلب المصمت قد أصبحت مألوفة لنا الآن لأن سدود هوفر، وجراند كولي، ونوريس، ومعظم السدود الكهرباء الضخمة من هذا النوع. وبناء هذه السدود الكبيرة باهظة التكاليف، لكنها تعوض هذا بمزايا من الإحتمال والصلابة لا تضاهيها السدود الترابية والصخرية. وسدود البنيان الصلد المصمت يمكن بناؤها على أي موقع يكون أساسه الطبيعي قويا بدرجة تتحمل ثقل السد الضخم. وهذه النماذج الثلاثة من السدود عرفها كلها العالم القديم. أما خلال السنين الأخيرة فقد استخدمت أيضا أربعة أنواع أخرى من السدود وهي:

(١) سدود البنيان المفرغ.

(٢) السدود الخشبية.

(٣) سدود الحديد الصلب.

(٤) سدودو القناطر (العقود).

وسدود البنيان المفرغ مصممة على نمط سدود البنيان المصمت، لكنها لا تحتوي إلا على ٣٥ ٪ إلى ٤٠ ٪ على الأكثر من الخرسانة المستخدمة في السدود المصمتة. وثقل الماء تتحمله عادة فرشة من الخرسانة المسلحة أو قناطر تتحمل جزاء من ثقل الحمل. وتكون

الواجهة الأمامية عادة مائلة بزاوية ٤٠ درجة، وهذا الميل يوزع الحمل على أكبر جزء من الجسم السد أكثر مما يحدث في السد المصممت، كما يحتاج إلى خلرسانة أقل. وسدود البناء المفرغ أصعب في بنائها من السدود المصمتة، ولا يكون بناؤها أمرا عمليا إلا حيثما يتواجد العمال المهرة بأجور معقولة، وإلا فتكاليف الأيدي العاملة في مثل هذا السد المعقد تفوق الوفر الذي ينجم عن خفة البنيان.

أما سدود الصلب والخشب فلا تستخدم في المشروعات الكبرى. وقرابة عام ١٩٠٠ بذلت محاولة لإستخدام الصلب كعنصر أساسي كبير في البناء في ثلاثة سدود كبرى. ولكن عندما فشل أحدهما في الصمود نبدت الفكرة على وجه عام. ولا تستخدجم سدود الصلب اليوم إلا كسدود أمامية مؤقته يقتضيها بناء السدود الدائمة. وسدود الصلب الأمامية تدعم عادة بالخشب وردم الصخر أو التراب. وتشاهد سدود الخشب في المزارع والبحيرات الصغيرة حيث لا تتحمل عبئا كبيرا. وسدود الخشب قصيرة الأجل لأنها سرعان ما يدب فيها العطب خلال سنوات قليلة. ولا تعمر السدود الخشبية أكثر من ثلاثين أو أربعين سنة اللهم إلا في القليل النادر، ولابد أن تلقي صيانة منتظمة خلال هذه الفترة. على أنها مفيدة بوجه خاص في المناطق ازراعية حيث قد يحتاج المزارع في تربية الماشية إلى بحيرة ماء تشرب منها دوابه، وما إلى ذلك من الإحتياجات البسيطة.

أما سدود القناطر فهي أكثر السدود الكبيرة تعقدا، فبدلا من أن

تستند إلى قوة كتلة السد لمقاومة الماء وصده فإنها تستفيد من القوة الأفقية الناشئة عن تقوس العقد (القنطرة)، وهي تتقوس تقوسا شديدا لتقاوم ضغوط الماء بطريقة قد تتطلب صفحات إذا شئنا أن نشرحها بصورة مناسبة. ونظرا لأن سدود القناطر معقدة على هذه الصورة من وجهة النظر الهندسية فهي لهذا السبب بالذات لا تبنى إلا نادرا. وتعتبر أنسب ما تكون في المواقع التي لابد أن يكون السد فيها متناهي الارتفاع والضيق. من ذلك مثلا أن سد سوتيت على نهر دراك في فرنسا الذي شيد سنة ١٩٣٤ يرتفع ٤١٤ قدما عند أعلى نقطة بينما لا يتجاوز طوله ٢٣٠ قدما عند القمة، و٨٥ قدما عند قاع المضيق، ويبلغ سمكه ٥٦ قدما عند القاع، و٧ أقدام عند القمة. وعندما شيد كان أعلى سد من نوعه في العالم. لكن كما رأينا فإن هذه المكانة يندر أن يستبقيها سد فترة طويلة من الزمن. كذلك فإن سد تيجنز وهو في فرنسا أيضا، الذي تم بناؤه سنة ١٩٥٣ من طراز سدود القناطر، ويزيد ارتفاعه عن سد سوتت ١٧٨ قدما إذ يبلغ ٥٩٢ قدما. لكن كان على سد تيجنز أن يتخلى عن هذا اللقب سنة ١٩٥٧ لسد موفوازان على نهر درانس بسويسرا الذي يبلغ ارتفاعه ٧٨٠ قدما فلا يصبح أعلى سد قناطر (عقد) في العالم فحسب بل أعلى سد من أي نوع إلى أن تم بناء سد فايونت بإيطاليا بعد ذلك بثلاث سنوات.

سد شاستا

يعتبر سد شاستا من السدود الأمريكية العملاقة ويقع على نهر سكرامنتو وقد صمم أساسا لري الوادي الأوسط بكالبفورنيا. وسد شاستا جزء من مشروع من أضخم مشروعات الري نفذت في الولايات المتحدة منذ عام ١٨٤٧ عند ما بدأت أعمال الرى الحديثة تمارس في هذه البلاد لأول مرة (وكان الرواد هم المورمون في يوتاه الذين حولوا في ٢٤ يولية سنة ١٨٤٧ مياه غدير لري حقل من حقول البطاطس بالقرب مما يسمى الآن مدينة سولت ليك). وسد شاستا من سدود الخرسانة التي تعتمد على الثقل الذاتي، ويرتفع ٦٠٢ قدما، ولا يعلوه إلا سد هوفر بين السدود المكتملة في الولايات المتحدة، ويساعد في رى مساحة خالية من الأرض الخصبة يبلغ طولها ٥٠٠ ميل تقريبا وعرضها ١٢٠ ميلا، أي أنها أكبر من إنجلترا كلها.

وقبل بناء السدود كان يتهدد "الوادي الأوسط" الغولان التوأمان في جنوب الغرب، وهما الفيضان والتحاريق. فعندما ترتفع المياه في النهر، فهي ترتفع إرتفاعا شديدا، أما باقي العام فهو غدير ضحل لا جدوى منه نسبيا. وفي وقت الثاني من ديسمبر سنة ١٩٣٥ بدأ مكتب الإصلاح الزراعي في بناء سد على أعالي نهر سكرمنتو لمعالجة هذا الوضع ولقد صب من الخرسانة ستة ملايين ونصف ياردة مكعبة في سد شاستا، وركب حزام متحرك طوله عشرة أميال لنقل الخرسانة لموقع السد. كذلك

كان لابد من رفع ٣١ ميلا من شريط السكة الحديد من طريق السد. وكانت سكك حديد جنوب الباسيفيكي تسير قطاراتها عبر الوادي منذ ٦٥ سنة. ثم حفر نفق تحت موقع أساس السد، وظلت القطارات طوال عامين تمر خلال هذه الحفرة الرهيبة تحت الأرض في الوقت الذي إستمرت فيه أعمال البناء. ومد مكتب الإصلاح الزراعي سككا حديدية جديدة لتجري عليها قطارات جنوب الباسيفيكي شرقي موقع الخزان الذي تكون فيما بعد. وعند الإنتهاء من مد السكك الحديدية الجديدة حول بناة السد نهر سكر منتو كله إلى النفق حتى يتمكنوا من بناء السد! وبعد إتمام بنائه أغلق النفق.

وقد احتجز السد خزانا سعته ٤,٥٠٠,٠٠٠ فدان – قدم من الماء. ويرفع هذا الماء بالمضخات مسافة ٢٠٠ قدم إلى قناة تجري به إلى الجنوب وتتحول إلى نهر سان جوكوين على بعد ١٢٠ ميلا. والسر في ذلك أن معظم أمطار الإقليم تسقط في الشمال بينما تقع أخصب الحقول في الجنوب. فتقطع مياه سكرمنتو قرابة ٤٤٠ ميلا عن طريق قناة دلتا مندوتا أولا ثم نهر سان جوكوين بعدئذ إلى الطرف الآخر من الوادي الأوسط. ولا يوفر هذا المياه للحقول العطشى فحسب، بل يساعد كذلك على الحيلولة بين مياه المحيط الهادي المالحة وبين تدمير وادي سان جوكوين. وكان الفلاحون هناك – وقد إستبدت بهم الحاجة إلى الماء – قد حفروا ٣٠,٠٠٠ بئر. وبلغ عمق بعض هذه الآبار أكثر

من ٢٠٠٠ قدم فاتصلت بالمياه المالحة التي تسربت من المحيط الهادي أما الآن فلم يعد ثمة ضرورة لإستخدام هذه المياه المالحة التي تقتل المحاصيل.

وثاني أنهار الوادي هو سان جوكوين الذي كان ينتقل فيما مضى المياه من الجنوب الذي كان يحتاج إليها، إلى الشمال الذي كان في غنى عنها. أما وقد أصبحت المياه من نهر سكرمنتو تأتي جنوبا عبر سان جوكوين، فكان لابد من عمل شئ ما لتحويل اتجاه سان جوكوين عن الشمال فأقيم سد ثان هو سد فريانت الذي ارتفع ٣١٩ قدما وحجز أمامه خزانا من الماء يغطي مساحة كبيرة من وادي نهر سان جوكوين. وترسل بعض مياه هذا الخزان شمالا عبر قناة ماديرا وطولها ٣٦ ميلا إلى أقليم جاف، لكن معظم الماء يحول أبعد من ذلك جنوبا خلال قناة فريانت كيرن مسافة ١٦٠ ميلا إلى الطرف الجنوبي من الوادي حيث كانت الحاجة إلى الماء شديدة جدا دائما.

وهذا التدبير الذي يقوم على السدين ينقل المياه بشكل مناسب إلى الحقول التي تعاني الجفاف في الطرف الجنوبي من الوادي، بينما تحرر الشمال من مشكلة الفيضان القديمة. وهذان السدان وحدهما لا يحلان مشكلة غولي الفيضان والجفاف كلها بطبيعة الحال. فمنذ أن تم بناؤها – سد فريانت سنة ١٩٤٢ وشاستا سنة ١٩٤٥ – أقيمت عشرات السدود الأخرى، أو وضعت مشروعاتها لروافد النهرين الكبيرين

حتى يمكن القضاء على مشكلة فيضان الربيع في مهدها. ويعمل مكتب الإصلاح الزارعي ومهندسون الجيش في هذا الوادي جنبا إلى جنب، فيبني مهندسو الجيش سدود التحكم في الفيضان وتوليد الكهرباء بينما يبني مكتب الإصلاح الزراعي سدود الري وتوليد الكهرباء.

سد بارتلت

لا يشبه سد بارتلت بأريزونا إلا سدود قليلة في منظره الغير المألوف. وهو سد متعدد القناطر ومن الطراز الخرساني المفرغ ويستند إلى سلسلة من القناطر المقوسة والمنحدرة إلى أسفل في النهر، وتبدو كأنها صف طويل من البراميل التي تحمل السد فوقها. وقد بني سنة ١٩٣٩ وهو أعلى سد من نوعه في العالم وبلغ ارتفاعه ٢٨٧ قدما. ورغم أن طوله ٨٠٠ قدم عند القمة، فإنه لم يستخدم فيه إلا ١٨٢,٠٠٠ ياردة مكعبة من الخرسانة مؤكدا بذلك خفة بنائه المتناهية (يحتوي سد جراند كولي على نحو خمسين ضعفا من هذا القدر من الخرسان) وسد بارتلت يعمل لري الأرض والتحكم في الفيضان ولا يولد طاقة كهربائية ويقع على نهر فيرد، أحد روافد نهر سولت وقد بناه مكتب الإصلاح الزراعي. وهناك سد كبير آخر من النوع المتعدد القناطر هو سد بنسا كولا على نهر جرانت في أو كلاهوما. وقد بني بغرض توليد الكهرباء والتحكم في الفيضان، ويبلغ ارتفاعه نصف سد بارتلت أطول منه ثماني مرات، إذ يبلغ ٦٥٠٠ عند القمة. وقد بني سنة ١٩٤٠.

السدود الترابية

إن أضخم السدود العالم من حيث الحجم والطول هي السدود الترابية وبناؤها أرخص من بناء السدود الخرسانية وأكثر نباتا إذا كان الأساس لا يقوى على حمل الخرسانة، وقد عادت السدود الترابية فازدهرت من جديد نوعا ما خلال السنوات الأخيرة. ومن الأمثلة الطيبة لهذه السدود الترابية سد "جرين ماونتن" على نهر الكولورادو سد "أندرسن رانش" في أيداهو، وسد "بويسن" في ويومنج. وقد عرضنا من قبل لسد سويفت في واشنطن الذي كان إلى عهد قريب أعلى سد من نوعه. وسد ديفز على نهر الكلورادو هو الآخر سد ترابي.

ولابد أن يصمم السد الترابي بحيث يكون له قناة تصريف عريضة واسعة، وإلا تسببت المياه التي تفيض فوق قمة السد في إحداث تغرات فتتسرب منها محتويات الخزان. ولابد أن تكون ميول السد الترابي خفيفة مستوية لتحقيق أكبر قدر من الأمان. ولابد أن يكون الجانب الخلفي الجاف من السد الترابي محميا من تآكل تساقط الأمطار، ولابد أن يكون الجانب الأمامي متينا ليصمد لدفع الأمواج غي تلخزان إذا إضطربت المياه واشتد هديرها.

وهناك طريقتان لبناء السد الترابي: طريقة الردم بالدك وطريقة التحيف الهيدروليكي. وفي الطريقة الأولى، توضع مواد البناء طبقة بعد طبقة في موقع الخزان، وكل طبقة تدك بدورها في إحكام بآلات الدك.

وفي طريقة التجويف الهيدروليكي، تفرغ المواد في النهر وتجرف إلى المكان المخصص لها. ولمنع التسرب، تبنى سدود ردم التراب بطبقات من المواد المختلفة. ففي قلب السد يوضع الردم الناعم، أي التراب والرمل. ويقوم على جانبي هذه المنطقة منطقتان من الصخور التي تحول دون تسرب الماء إلى القلب الناعم. وعلى الجوانب الخارجية للسد تقوم منطقة ثالثة من الصخر. ولا تبذل أي محاولة لجعل هذه المنطقة الخارجية مانعة لتسرب الماء، فإن المنطقة الوسطى هي التي تتكفل بمشكلة التسرب – لكن المنطقة الخارجية تكون قوية مثينة للصمود في وجه ارتطام مياه الخزان بالسد. وحيثما يكون نشع الماء مشكلة بسبب عدم منع الأساس لتسرب المياه، تركت مضخات تجفيف لنزح المياه التي قد تتسرب خلال السد. وقنوات تصريف الفائض الملحقة بالسد الترابي تبطن بالخرسانة كما رأينا في معرض الحديث عن وادي تنيسي. عندما تكون هناك محطة توليد كهرباء فإنها تصنع من الخرسانة هي الأخرى. وأعلى سد ترابي حتى الآن هو سد "ترينيتي" بكاليفورنيا، وهو جزء من مشروع مكتب الإصلاح الزراعي للوادي الأوسط ويبلغ ارتفاعه ٥٣٨ قدما وطوله ٢٤٥٠ قدما ويتكون من ٣٣ مليون ياردة مكعبة من الردم. وقد واجهت عملية بناء سد ترينيتى بعض المشاكل الخاصة في النقل. فالحفرة التي كان ينقل منها التراب كانت أعلى من موقع السد بنحو ١٥٠٠ قدم. وكان لا بد من جر نحو ٩ مليون ياردة مكعبة من المادة الصماء المانعة للتسرب من هذا المنحدر. وبدلا من استخدام

عربات النقل أقيم حزام آلي سريع لأداء هذه العملية تكلف ٢ مليون دولار، وكان هذا الحزام الآلي ينقل يوميا ٣٥ ألف ياردة مكعبة على مسافة ميلين من المنحدر إلى موقع السد وبعد إقامة قلب السد وضعت فوقه أربعة أنواع أخرى من الردم مع واجهات خارجية من الصخر. وسد ترينيتي يولد الكهرباء ويوفر ماء الري ويقع شمالي غرب سد شاستا في منطقة وادي سكرمنتو. وهو يحتجز خزانا على نهر ترينيتي، ثم تحول هذه لمياه جنوبا إلى وادي سكرمنتو.

وأكبر السدود الترابية من حيث حجمها هو سد "أوهي" على نهر ميسوري، وهو حلقة من سلسلة طويلة من السدود التي سوف تمسك في نهاية المطاف بزمام هذا النهر المشاكس. وقد تم بناء سد أوهي في نوفمبر سنة ١٩٥٩، أي بعد ١١ سنة من العمل، وقد وضع في الجسم السد نحو ٩١ مليون ياردة مكعبة من الردم. ولهذا السد الذي قام على بنائه مهندسو الجيش الأمريكي أربعة أغراض، هي توليد الكهرباء، وتوفير مياه الري، والتحكم في الفيضان، وتيسير الملاحة. وسوف يكون خزانا في منطقة طولها ٢٥٠ ميلا جنوبي داكوتا، مختزنا مياه نهر ميسوري في وقت الفيضان ليصرفها في موسم التحاريق. ويبلغ ارتفاع سد أوهي ٢٤٢ قدما ويمتد ٩٣٦٠ قدما، أي أكثر من ١،٧٥ ميل.

وقد استخدمت في بناء هذا السد أضخم عربة قلابة في العالم، وهي مزودة بثماني عشرة عجلة وتسع ١١٠ ياردة مكعبة، أي نحو

١٦٥ طنا، وعندما تكون كاملة الحمولة تستطيع التحرك بسرعة ٣٥ ميلا في الساعة. وكما حدث عند بناء كل سد نشأت مشاكل خاصة أثناء عملية البناء. ففي سنة ١٩٥٧ حدثت سلسلة من الإنهيارات عندما أخفق أساس السد في الصعود على نحو ما كان متوقعا، فكان من الضروري تعديل التصميم وتغيير أنفاق المحطة الكهربائية، وكان لابد من حفر ٧ مليون ياردة مكعبة من شرائح الطفلة الصخرية لتسوية منحدرات المحطة الكهربائية.

ويعتبر سد "فورت بيك" جد السدود جميعا كتلته، ويقوم هو الآخر على نهر ميسوري وهو يشبه الحوت وقد بني بطريقة التجريف الهيدروليكي ويحتوي على ١٠٩ مليون ياردة مكعبة من التراب، ويرتفع ٢٥٠ قدما ويمتد مسافة مهولة إذ يبلغ طوله ٢١,٠٢٦ قدما – أي ما يقرب من أربعة أميال – عبر نهر ميسوري في فونتانا. وقد تم بناؤه عام ١٩٣٩ بتكاليف قدرها ١٣٠ مليون دولار ولا يوجد سد في العالم يضاهيه من قريب أو بعيد طوله. ويليه سد ساسكاتشيوان، ويجرى العمل فيه بكندا، وطوله نحو ثلاثة أميال عند القمة.

لكن سد بوسك في تكساس الذي سيتم عام ١٩٦٥ سيمتد خمسة أميال طولا. ويبلغ حجم سد فورت بيك أكثر من عشرة أضعاف حجم جراند كولي، وهو أضخم السدود الخرسانية. والواقع أن سد فورت بيك أكبر حجما من سدود أوهي، وجراند كولي، وهوفر مجتمعة. وعند

بناء سد فورت بيك أقيمت أربع كراكات كبيرة عند موقع السد، لتجريف الركام من قاع الوادي وقد نقل هذا الركام إلى المكان المخصص له من السد بدفعة بالمضخات داخل أنابيب من الصلب يزيد قطرها على بوصتين. وفي بعض مراحل العملية بلغ هذه الأنابيب خمسة أميال وكان نحو ٩٥٪ من العمل في السد قد تم إنجازه عندما حدث بحول في الأساس في الواجهة الأمامية من السد، بقرب الدعامة الشرقية. وهذه الإنزلاقات الغير المتوقعة من المضايقات المتكررة في بناء السدود الترابية. وكان الإنزلاق قوامه نحو خمسة ملايين ياردة مكعبة من التراب، وكان لابد من إزالة الجزء المنزلق كله وإعادة بنائه، مما أعاق إكمال السد أكثر من عام.

سد لي جاج

يعتبر سد فورت بيك أضخم سد في العالم، وسد فايونت بإيطاليا أعلى سد، لكن لعله لن يمر وقت طويل حتى نسمع عن سد أضخم من فورت بيك، كما أن سد فايونت على وشك فقدان لقبه أمام سد سويسرا الجديد جراند ديكسانس. على أن هناك سدا يحتمل أن يحتفظ بلقبه فترة طويلة هو سد "لي جاج" بفرنسا. فهو أرق سدود العالم سمكا وقد بني لتوليد الكهرباء، لكن المهندسين الفرنسيين قرروا تجربة أقل سمك يمكن أن يبنى به سد على ذلك الموقع، مع توفير القدر المناسب من الأمان. وسد لي جاج من ورق السمك بحيث لا يحتمل أن يجرؤ أي

إنسان على بناء سد كبير أقل منه سمكا. وهو من طراز سدود القناطر (العقود) ويبلغ ارتفاعه ١٢٥ قدما وطوله ٤٧٠ قدما عند القمة. ولا يتجاوز سمك أعرض جزء فيه عند القاعدة ثماني أقدام ونصف. ويتناقض كلما ارتفع حتي يصل في رشاقته إلى أربع أقدام وربع عند القمة.

السدود الجافة

السد الجاف نوع خاص من السدود يقتصر استخدامه على التحكم في الفيضان والسدود الجافة لا تولد الكهرباء ولا فائدة منها في الري، بل إنها لا تختزن المياه طوال شطر كبير من العام. كما أنها لا تجهز ببوابات آلية لفتحات التصريف. فالسد الجاف مجرد حاجز يقام عبر نهر فبيل مدينة تتهددها الفيضانات ويختار موقعه بحيث يكون أماهه أخدود أو واد ليكون بمثابة خزان وقت الفيضان. وبدلا من بوابات تصريف المياه يكون للسد الجاف فتحات ثابتة تنساب منها مياه النهر العادية. وعندما تنهمر ثلوج الربيع، أو خلال أوقات الأمطار الغزيرة بصورة غير مألوفة، تجري في النهر كميات كبيرة من المياه أكبر من أن تصرفها بوابة السد الجاف على الفور، ولذلك يبدأ خزان في التجمع أمامه. وتستمر المياه في المرور من السد بالمعدل المعتاد. أما الفائض فيحتجز في الخزان لينساب شيئا فشيئا، وبدأ تتقي المدينة القابعة وراء السد شر الفيضان.

وأحسن مثل لنظام سد جاف يعمل بصورة مرضية يمكن مشاهدته

بالقرب من مدينة ديتون بأوهيو في قلب المنطقة المسماة "مركز صيانة ميامي" وهناك ميامي في أوهيو وميامي في فلوريدا. وفي عام ١٩١٣ فاض نهر ميامي فيضانا شديدا دمر مدينة ديتون وكانت إذ ذاك مركزا تجاريا ناميا في هذه المنطقة. وغرق ٣٠٠ شخص وقدرت الخسائر في الممتلكات بعدة ملايين من الدولارات وبلغ من شدة الدمار الذي ألحقه الفيضان بالمدينة أن رأى بعض المراقبين أنه لا يمكن إعادة بنائها.

لكن ديتون أعيد بناؤها فعلا. ورغبة في حمايتها مثل هذه الفيضانات المخربة، أقيمت خمسة سدود ترابية على النهر قبل أن يمر بالمدينة، منها سد على نهر ميامي، واثنان على نهرين فرعيين، واثنان على غديرين. وتتراوح ارتفاع هذه السدود بين ٦٥، ١٢٠ قدما، ولها كلها بوابات مفتوحة عند قواعدها، وطوال معظم أيام السنة، تجري الأنهار والغدران خلال بوابات هذه السدود الخمسة بسرعة واحدة منتظمة، أما في الربيع والصيف فإن سرعة المياه تزداد، وتبدأ الخزانات الجافة أمام السدود في الإمتلاء. لكن سرعة المياه إزاء مدينة دايتون تظل دائما كما هي، بفضل ظاهرة التحكم الذي تمارسه هذه السدود الجافة.

وليس لهذه السدود أية وظيفة أخرى بل إنها تحمل لوحات منقوش عليها هذه العبارة: "إن سدود قسم صيانة ميامي قد أقيمت بغرض درء أخطار الفيضان. أما استخدامها لتوليد الكهرباء أو لتخزين المياه فإنه يكون نكبة على المدن الواقعة وراءها". وفي الأماكن التي لا توجد بها

سدود جافة رغم تعرضها للفيضان، لابد من حفر خزانات لتلقي مياه الفيضان. وهذا معناه فقدان إمكانيات توليد الكهرباء كلما انخفض سطح الخزان، إذ لابد لتوليد الطاقة الكهربائية بكافة فائقة من أن يحتفظ الخزان بأكبر قدر ممكن من الماء. وللسدود الجافة ميزة أخرى حيث أنها تنظم نفسها بنفسها على وجه كامل. فهي تتخلص من مياه الفيضان بسرعتها، وليس ثمة حاجة لتقرير متى تفتح البوابة فالبوابة مفتوحة دائما وبذا تتخلص من احتمال الخطأ الإنساني أو العطل الآلي.

سدود الركام الصخري

سدود الردم الصخري أقل شيوعا من كل من السدود الترابية أو الخرسانية لكن هناك عددا لا بأس به منها في أمريكا. وهي مكونة من طبقة من مختلف أحجام الصخر، يتخللها في بعض الأحيان تراب مدكوك دكا شديدا في القلب البناء، وكثيرا ما تغطي الواجهة الأمامية بطبقة من الخرسانة. وكما هو الحال في سدود الردم الترابي لابد أن تجهز سدود الركام الصخري بقنوات من الخرسانة لتصريف الفائض، ذلك لأن المياه إذا فاضت على قمة سد من الركام الصخري لابد أن تشق في النهاية لنفسها مجاري تتكون بفعل التآكل والتعرية.

وميل سد الركام الصخري لا يحتاج إلى أن يكون خفيفا مسطحا مثل ميل سد الركام الترابي، فالسدود الرتابية يكون ميلها عادة بمعدل ٣ أو ٣,٣٣ أفقيا إلى واحد رأسيا، بينما يمكن أن تكون سدود الركام

الصخرية أكثر ميلا بنسبة ١,٣ أو ١,٤ أفقيا إلى واحد رأسيا.

وسد سولت سبرنجز بكاليفورنيا طراز مثالي لسدود الرخام الصخري. ويقوم على أساس من الصخر الصلد مع طبقات أصغر فأصغر من قطع الصخر مائلة ميلا شديدا نسبيا. وواجهته الأمامية تحميها طبقة من الخرسانة يتراوح سمكها بين قدم واحدة وثلاثة أقدام، والجزء السفلي من هذه الطبقة الخرسانية مغطى بواجهة إضافية من الخشب. ورغم التخطيط الدقيق فإن الطبقة الخرسانية تشققت عند وضعها في مبدأ الأمر، وكان من الضروري تفريغ الخزان وإجراء الإصلاحات اللازمة وقد تمت بنجاح. ويبلغ إرتفاع سد سولت سبرنجز ٣٤٥ قدما. وكان عند اتمامه سنة ١٩٣١ أعلى سد في العالم من الركام الصخري. على أنه في سنة ١٩٣٧ انتزع منه هذا اللقب سد آخر بكاليفورنيا هو سد سان جبرييل رقم (١)، الذي بلغ ارتفاعه ٣٨١ قدما ويحتوي جسمه على قرابة ١١ مليون ياردة مكعبة من الردم الصخري، وبذا يكون أضحم من سد جراند كولي.

وهناك سد من الركام الصخرى أكبر منه يجرى بناؤه بمعرفة مهندسي الجيش، وهو سد كوجار على نهر ما كنزي بأوريجون، وسيكون أقصى ارتفاع له ٤٤٥ قدما، وسيتطلب ١٣,٢٠٠,٠٠٠ ياردة مكعبة من الردم. ولا يستخدم سان جبرييل رقم (١) إلا للتحكم في الفيضان وتوليد الكهرباء والملاحة.

سد كاريبا

على بعد ثلاثمائة ميل جنوبي شلالات فيكتوريا بأفريقا تشرف أكبر بحيرة في العالم صنعها الإنسان على بلوغ كامل حجمها في الوقت الذي تكتب فيه هذه السطور. وكانت بحيرة ميد حتى هذا الوقت، وهي خزان سد هوفر وتسع ٣١,١٤٢,٠٠٠ فدان – قدم هي أكبر بحيرة صناعية في العالم. لكن البحيرة الجديدة التي يخزن مياهها سد كاريبا على نهر زمبيزي، تجعل بحيرة ميد المسكينة تبدو كأنها مجرد بركة متضخمة..!

وهذا الخزان الجديد تبلغ سعته ١٣٠مليون فدان – قدم من الماء أي أنها تختزن من المياه ما اختزنته في حجم بحيرة ميد، مع خزان سد جراند كولي، وهو بحيرة روزفلت لتكمله القياس.

والسد الذي احتجز هذه الكمية العظيمة من الماء ثم بناؤه في أواخر عام ١٩٦٠، وبين السدود لا يعتبر كبيرا بشكل غير مألوف، إذ يبللغ أقصى ارتفاع له ٤٢٠ قدما إذا ما قورن بسد هوفر البالغ ارتفاعه ٧٢٦ قدما. ويبلغ طوله عند القمة ١٩٠٠ قدم بينما يبلغ طول جراند كولي ٤١٧٣ قدما. ويبلغ حجم سد كاريبا ١,٤٠٠,٠٠٠ ياردة مكعبة فقط، أي نحو ثلث حجم سد هوفر وثمن (١/٨) سد جراند كولي. لكن الغور الذي أقيم وراءه سد كاريبا قد أعدته الطبيعة إعدادا رائعا لمهمة إحتجاز أكبر خزان في العالم. فهذا الغور الضيق يؤدي إلى حوض طبيعي مهول، ولذا فإن الخزان الذي يمتد ١٧٥ ميلا أمام السد له سعة تخزينه

كبيرة بشكل استثنائي خارق. ومثل هذه المواقع الطبيعية للخزانات لا توجد في كل مكان. بل أروع من ذلك أن هذا الموقع يعتبر موقعا مثاليا لتلبية حاجات صناعة النحاس النامية في روديسيا. ويقع السد عبر نهر زمبيزي حيث يكون الحدود بين روديسيا الشمالية والجنوبية، وهما قطاعان من إتحاد روديسيا ونياسالاند. ومحطة الكهرباء المقامة أمام السد وعلى بعد ٦٠٠ قدم تحت االأرض سوف تولد أكثر من ٨ مليون كيلوات – ساعة من الكهرباء في العالم عندما تبلغ أقصى طاقتها.

وقد بدأ العمل في كاريبا عام ١١٩٥٦ وقد واجه بناة السد بعض المشاكل التي لم تشغل بال بناة سد هوفرر وجراند كولي، فقد كان لابد من تهجير ٤٠,٠٠٠ نسمة من السكان الأفريقيين من منطقة الخزان، ولم يكن بعضهم مرتاحا إلى فكرة تشريده من مواطن الأجداد بل إن خمسمائة رجل من رجال القبائل في وادي جويمي في روديسيا الشمالية تحدوا أمر الجلاء عن المنطقة، وكان لابد من إرسال فصائل الجيش لقمع الفتنة، وقتل ثمانية من رجال القبائل في المعركة.

وقد كان لفيضائي نهر زمبيزي عام ١٩٥٧ وعام ١٩٥٨ أثر على عملية البناء، لكن المقاولين استطاعوا بطريقة ما، لا أن يتشبثوا بالتوقيت الموضوع عند بدء العمل فحسب، بل أفلحوا في إنهاء العملية قبل الموعد المضروب فعلا. وقد أحرزوا هذا النجاح رغم الفيضانات والحرارة الخانقة في الغابات والصعوبات التي واجهوها في بناء السد

العملاق في قلب أفريقيا. وفي أثناء عملية البناء كان كبار القوم من شتى أنحاء روديسيا يدعون فيقطعون الرحلة جوا لمشاهدة سير العمل. ولا نعرف على وجه الدقة شعور رؤساء القبائل هؤلاء الذين ما زالوا يعيشون في الأكواخ البدائية إزاء منظر الوحش الخرساني المتربع على نهر زمبيزي، ترى هل بدأوا يدركون أن نهر زمبيزي ذلك العملاق الذي يمتد ٢٦٠٠ ميل في قلب أفريقيا كان يوشك أن يروض ويسخر في خدمة الإنسان؟

الفهرس